

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Прилади та системи орієнтації і навігації

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»

УДК 004.925.8:519.876.5:699.83

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” 20\_\_ р.

## Магістерська дисертація

зі спеціальності (спеціалізації)

(код і назва спеціальності)

151. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему: Імітаційне моделювання багатоосередкового пошкодження ставних резервуарів

Виконала: студентка 6 курсу, групи ПГ-61М

(шифр групи)

Тимченко Аліна Ігорівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник доцент к.т.н. Півторак Д.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант Стартан доцент к.е.н. Бояринова К.О.

(назва розділу)

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент доцент к.т.н. Маркіна О.М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент

(підпис)

## РЕФЕРАТ

У зв'язку зі зносом технічного обладнання, погіршенням погодних умов та регулярним збільшенням навантажень, в останні роки все частіше виникає потреба у перевірці технічного стану основних інженерних та будівельних конструкцій на об'єктах дослідницької діяльності.

Проблема з недосконалістю способів діагностики пошкоджень спричинила гостру необхідність у розробці новітніх методів дослідження. У свою чергу, це спричинило розвиток систем моніторингових.

Зокрема, популярність моніторингу та діагностики з використанням сучасних інформаційних технологій актуальні з ряду причин:

- полегшення пошуку дефектів, що виникли в процесі виготовлення об'єктів, або ушкоджень, отриманих при їх транспортуванні завдяки імітаційному моделюванню;
- можливість зміни механічних характеристик використаних матеріалів у режимі комп'ютерної програми;
- моделювання будь-якого хімічного та фізичного процесу по заданим параметрам;
- виявлення найбільших зон ризику та розрахунок умов їх утворення.

Імітаційне моделювання аварійних ситуацій – це новітній спосіб реалізації дослідницької діяльності, що спрямована на виявлення не тільки реальних, а і ймовірнісних проблем. Імітаційне моделювання дає змогу не тільки встановити проблему, а й виявити порушення у роботі об'єкта ще до їх появи.

**Метою** дисертаційної роботи є визначення найбільш інформативних точок на стінках вертикального сталевого резервуара для встановлення датчиків, а також порогових значень напружень та деформацій при його багатоосередковому пошкодженні.

Досягнення мети передбачає вирішення наступних задач:

- 1.Огляд причин аварій на інженерних та будівельних об'єктах.

- 2.Огляд світового досвіду імітаційного моделювання багатоосередкового-пошкодження об'єктів в експлуатації.
- 3.Геометричне моделювання зварного резервуара вертикального сталевого.
- 4.Імітаційне моделювання резервуара без пошкоджень зварних швів.
- 5.Імітаційне моделювання резервуара з багатоосередкавим пошкодженням зварних швів.
- 6.Аналіз напружень та деформацій для визначення місць встановлення датчиків на резервуарі.

**Об'єктом дослідження** є процес руйнування стінки резервуара при її багатоосередковому пошкодженні.

**Предметом дослідження** є зміна напружено-деформованого стану вертикального сталевого резервуара при його багатоосередковому пошкодженні, визначення місць установки датчиків системи багатокласової діагностики.

**Методи дослідження** – геометричне моделювання для створення комп'ютерної моделі та імітаційне моделювання.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

№ держреєстрації 0117U001689 РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ПРО СТАН ОБ'ЄКТА В АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ ЗАПОБІГАННЯ ВИТОКАМ ПАЛИВА НА УКРАЇНСЬКІЙ АНТАРКТИЧНІЙ СТАНЦІЇ «АКАДЕМІК ВЕРНАДСЬКИЙ» (номер теми №Н/9-2017)

**Наукова новизна дисертації** полягає у наступному:

- побудовано діагностичні моделі вертикального сталевого зварного резервуара для зберігання палива;
- за допомогою імітаційного моделювання визначено вплив параметрів пошкодження зварного шва на напружено-деформований стан резервуара його міцність та надійність при циклічних навантаженнях.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у розробці методик імітаційного моделювання руйнівних процесів, а також у визначенні місць установ-

ки датчиків системи багатокласової діагностики для визначення технічного стану об'єктів, які знаходяться в експлуатації.

**Апробація результатів** дисертації відбулася на наступних конференціях:

- Пустовойт А.І. Порівняння програмних комплексів інженерного розрахунку / С.О. Цибульник, Д.О. Півторак, А.І. Пустовойт // Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 17–18 листоп. 2016) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – С. 305XIII та XIV міжнародна науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Екологія. Людина. Суспільство». – Київ, НТУУ «КПІ», 2010-2011;
- Пустовойт А.І. Огляд програмних комплексів інженерного розрахунку / С.О. Цибульник, І.Є. Коменчук, А.І. Пустовойт // Вісник інженерної академії України. – Київ, 2016. – № 4. – С. 162-165. (фахове видання);
- Пустовойт А.И. Геометрическое моделирование украинской антарктической станции «Академик Вернадский» / С.А. Цибульник, А.И. Пустовойт // Новые направления развития приборостроения: Материалы 10-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов / Белорусский нац. техн. ун-т. – Том 1. – Минск: БНТУ, 2016. – С.96.;
- Pustovoit A. Modeling of destructive processes in fuel tank / S. Tsybulnik, A. Pustovoit // VIII міжнародна Антарктична конференція «VIII міжнародна Антарктична конференція, присвячена 25-річчю приєднання України до Договору про Антарктику» / НТУУ «КПІ». – Київ, 2017. – С. 190-191;
- Тимченко А.І. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООСЕРЕДКОВОГО ПОШКОДЖЕННЯ РЕЗЕРВУАРА З ПАЛИВОМ // С.А. Цибульник, А.І. Тимченко // XI Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»

**Публікації.** За матеріалами дисертації було опубліковано в матеріалах конференцій – 2 статті, у збірниках тез – 4 тез доповідей.

**Структура дисертації.** Дисертаційна робота складається з чотирьох розділів, висновків, переліку посилань, одного додатку. Загальний обсяг дисертації становить 155 сторінок, 106 малюнків, 36 таблиць, 75 положень переліку посилань.

МОНІТОРИНГ, ДІАГНОСТИКА, ВЕРТИКАЛЬНИЙ СТАЛЕВИЙ РЕЗЕРВУАР, ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, CAD, CAE,.

## ABSTRACT

In connection with the wear of technical equipment, deterioration of weather conditions and the regular increase of loads, in recent years, more and more, there is a need to check the technical state of the main engineering and construction constructions at the research sites.

The problem with the lack of diagnostic methods for injuries caused an urgent need to develop the latest research methods. In turn, this led to the development of monitoring systems.

In particular, the popularity of monitoring and diagnostics using modern information technologies is relevant for a number of reasons:

- facilitating the search for defects that arose in the process of manufacturing objects, or damages received during their transportation due to simulation modeling;
- the possibility of changing the mechanical characteristics of the materials used in the computer program mode;
- simulation of any chemical and physical process according to the given parameters;
- identification of the largest areas of risk and calculation of conditions for their formation.

Simulation of emergency situations is the newest method of realization of research activity, aimed at revealing not only real but also probabilistic problems. Simulation simulations allow not only to fix the problem, but also to detect disturbances in the work of the object before they occur.

**The purpose** of the dissertation is to determine the most informative points on the walls of the vertical steel reservoir for the installation of sensors, and also to the threshold values of stresses and deformations in its multicenter damage.

Achieving the goal requires the following tasks:

1. An overview of the causes of accidents on engineering and construction sites.

2. An overview of the global experience of simulation simulation of many focal-damage objects in operation.

3. Geometric modeling of a welded tank of vertical steel.

4. Simulation of a reservoir without damage welds.

5. Simulation of a reservoir with a plurality of damage to welds.

6. Analysis of stresses and deformations to determine the location of sensors on the reservoir.

**The object** of this research is the process of destruction of the wall of the reservoir with its multifocal damage.

**The subject** of this research is the change in the stress-strain state of the vertical steel reservoir with its multicore damage, the determination of the location of sensors in the system of multi-class diagnostics.

**Research methods** geometric modelling to create a computer model and simulation modelling.

**Communication of work with scientific programs, plans, themes.**

№ state registration 0117U001689 DEVELOPMENT OF SUBSYSTEMS VISUALIZATION AND ACCEPTANCE OF THE DECISION ON THE STATE OF THE OBJECT. In the automated system for preventing the leakage of fuel at the Ukrainian Antarctic station "Academician Vernadsky" (Number of the topic No. H / 9-2017)

**The scientific novelty of the dissertation is as follows:**

- Diagnostic models of vertical steel welded fuel storage tank were built;
- using simulation, the influence of the parameters of weld damage on the stress-strain state of the reservoir is determined by its strength and reliability during cyclic loading.

**The practical significance** of the results is to develop simulation techniques for destructive processes, as well as to determine the locations of sensors installation of a multi-class diagnostic system to determine the technical state of objects in operation.

**Approbation of results** of dissertations was carried out at the following conferences:

- Pustovoit A.I. Portivnyanya software complex in engineering rozraunku / SO. Cibulnik, D.O. Pivtorak, A.I. Pustovoit // Actual tasks of hourly technology: zb. abstracts of international reports.Sciences: -techn. Conf. young students and students, (Ternopil, 17-18 sheets, 2016) / Ministry of Science and Science of Ukraine, Tern. National. tech. this is not true. I. Pulling it. - Ternopil: TNTU, 2016. - C. 305XIII and XIV international scientifically-practical conference of studios, aspirants of the young ecologists. "Ecology. Lyudina. Sussiness ". - Kiev, NTUU "KPI", 2010-2011;

- Pustovoit AI An overview of software engineering complexes / S.O. Cyburnin, I.E. Komentyuk, AI Pustovoit // Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. - Kyiv, 2016. - No. 4. - P. 162-165. (professional Edition);

- Pustovoit A.I. Geometric modeling of the Ukrainian Antarctic station "Academician Vernadsky" / S.A. Tsybulnik, A.I. Pustovoit // New directions in the development of instrument engineering: Mothers of the 10th International Scientific and Technical Conference of Young Scientists and Students / Belorussian nats. tech. un-t. - Volume 1. - Minsk: BNTU, 2016. - P.96;

- Pustovoit A. Modeling of destructive processes in fuel tank / S. Tsybulnik, A. Pustovoit // VIII International Antarctic Conference "VIII International Antarctic Conference dedicated to the 25th anniversary of Ukraine's accession to the Antarctic Treaty" / NTUU "KPI". - Kyiv, 2017. - pp. 190-191;

- Tymchenko A.I. Simulation of a lot of focal damage to a tank with fuel. Tsybulnik, A.I. Timchenko // XI Scientifically-practical conference of students, post-graduate students and young scientists "A glance at the future of instrument making"

**Structure of the thesis.** The thesis consists of an introduction, five chapters, conclusion, bibliography, a single application. The total amount of the thesis 155 pages, 106 drawings, 32 tables, 75 bibliography items.

MONITORING, DIAGNOSTICS, VERTICAL STEEL TANK, GEOMETRIC MODELING, SIMULATION, CAD, CAE, WIND LOAD.





## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	12
ВСТУП.....	13
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ.....	14
ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІНЖЕНЕРНИХ ТА БУДІВЕЛЬНИХ СПОРУД.....	14
1.1 Технічний стан конструкції в експлуатації .....	14
1.2 Види порушень технічного стану .....	16
1.3 Характеристика тріщин .....	19
1.3.2 Коефіцієнт інтенсивності напружень .....	21
1.4 ИМетоди та засоби визначення напружено-деформованого стану об'єкта.....	22
1.4.1 Метод скінченних елементів.....	24
1.4.2 Розбиття сітки скінчених елементів, побудованої на основі геометричної трьохвимірної моделі .....	26
1.5 Моніторинг та діагностика.....	28
1.6 Огляд існуючих робіт.....	30
1.7 Мета роботи .....	36
РОЗДІЛ 2 ПОБУДОВА ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА.....	37
2.3 Основні конструктивні особливості.....	43
2.3.1 Фундамент та сталевий каркас.....	44
2.3.2 Геометрія зварного шва стінки резервуара .....	45
2.4 Розробка геометричних моделей об'єкт .....	45
2.4.1 Створення ескізу моделі резервуару .....	45
2.4.2 Використання панелей інструментів при створенні ескізів.....	46

	10
2.4.3 Побудова геометричної моделі внутрішнього резервуара.....	47
2.4.5 Об'єднання двох простих геометричних елементів .....	53
2.4.6 Створення дна резервуару .....	55
2.4.7 Побудова резервуару з іншим зварним швом .....	56
ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2 .....	60
РОЗДІЛ 3_Моделювання напружено-деформованого стану об'єкта .....	61
3.1 Огляд можливостей програмного комплексу ANSYS .....	61
3.1.1 Програмні модулі пакету ANSYS.....	62
3.1.2 Огляд модулів групи Analysis System програмного пакету ANSYS .....	63
3.2 Методика проведення імітаційного моделювання процесу руйнування .....	63
3.2.1 Структурний аналіз сталевих пластин.....	64
3.2.2 Аналіз динаміки сталевих пластин.....	73
3.2.3 Аналіз результатів моделювання.....	79
3.3 Методика побудови розрахункової моделі РВС у середовищі програмного комплексу ANSYS.....	83
3.3.1 Методика побудови розрахункової моделі РВС для розрахунку задачі гідродинаміки .....	84
3.3.2 Аналіз результатів моделювання.....	94
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3 .....	125
РОЗДІЛ 4_РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	126
4.1 Опис ідеї проекту .....	126
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту .....	128
4.3 Аналіз ринкових можливостей .....	129
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту.....	137

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту .....	139
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4 .....	142
ВИСНОВКИ.....	143
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	145
ДОДАТОК А.....	154

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

CAD – англ. computer-aided design – програмне забезпечення, призначене для дво- і тривимірного проектування, розробки конструкторської документації і т. д.

CAE – англ. computer-aided engineering – програмне забезпечення, призначене для симуляції, розрахунку та аналізу фізичних процесів.

СЕ - скінченний елемент.

MCE – метод скінчених елементів.

KIH - Коефіцієнт інтенсивності напружень.

PBC – Резервуар вертикальний сталевий.

НДС - Напружено-деформаційний стан.

САПР – система автоматизованого проектування.

SWOT - матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities).

## ВСТУП

Велика кількість аварійних ситуацій, пов'язаних з проведенням неякісних монтажних робіт, зносом технічного обладнання, регулярним збільшенням навантажень, а також впливом погодніх умов, піднімають питання контролю технічного стану відповідальних конструкцій інженерних та будівельних споруд на одне з перших місць при комплексній діагностиці об'єктів.

Збільшення навантажень на інженерній конструкції та будівельні споруди призводить до утворенню пошкоджень та руйнуванню частин або цілих об'єктів

Одними з найпоширеніших видів пошкоджень, що обмежують терміни безпечної експлуатації, є поверхневі не наскрізні тріщини різної форми та орієнтації щодо конструктивних елементів. Поява котрих, в свою чергу, призводять до виникненню негативного техногенного впливу.

За допомогою новітніх та потужних програмних комплексів автоматизованого проектування та скінчено-елементного імітаційного моделювання забезпечується дослідження об'єктів, які знаходяться у складних умовах експлуатації, та встановлюються норми їх контролю.

Саме тому, імітаційного моделювання ймовірносних аварійних ситуацій є рішенням проблеми надійності й довговічності, та є надзвичайно важливою і актуальною задачею.

## **РОЗДІЛ 1**

### **АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ**

#### **ВИЗНАЧЕННЯ ПОТОЧНОГО ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ІНЖЕНЕРНИХ ТА БУДІВЕЛЬНИХ СПОРУД**

Обстеження технічного стану – це важливий комплекс заходів на режимних об'єктах з підвищеною аварійною небезпекою. До таких відноситься і резервуар з паливом на території української дослідницької станції Академік Вернадський у Антарктиді.

Для того, щоб уникнути аварійних ситуацій на території комплексів інженерних та будівельних споруд необхідно проводити регулярні перевірки технічного стану конструкції в експлуатації.

У цьому випадку необхідно розглянути основні типи деформацій, види порушень технічного стану, а також умови утворення напружено-деформованого стану. Зокрема, варто звернути увагу на такий вид пошкоджень, як тріщини – адже вони є одним із основних джерел напружено-деформованого стану об'єкта.

#### **1.1 Технічний стан конструкції в експлуатації**

Оцінку категорій технічного стану несучих конструкцій, будівель і споруд, включаючи ґрунтову основу, проводять на базі результатів обстежень та перевірочних розрахунків. За цією оцінкою конструкції, будівлі та споруди, включаючи ґрунтову основу, поділяються на стани [1]:

- 1) нормативний технічний стан;
- 2) працездатний стан;
- 3) обмежено-працездатний стан;
- 4) аварійний стан.

Нормативний технічний стан [2] - категорія технічного стану, при якому кількісні та якісні значення параметрів всіх критеріїв оцінки технічного стану будівельних конструкцій будівель і споруд, включаючи стан ґрунтів основи, відповідають встановленим у проектній документації значенням з урахуванням меж їх зміни.

Працездатний технічний стан [2] - категорія технічного стану, при якій деякі з числа оцінюваних параметрів, що контролюються, не відповідають вимогам проекту або норм, але наявні порушення вимог у конкретних умовах експлуатації не призводять до порушення працездатності, і необхідна несуча здатність конструкцій і ґрунтів основи з урахуванням впливу наявних дефектів і пошкоджень забезпечується.

Обмежено-працездатний технічний стан [2] - категорія технічного стану будівельної конструкції або будівлі та споруди в цілому, включаючи стан ґрунтів основи, при якій є крен, дефекти і пошкодження, що призвели до зниження несучої здатності, але відсутня небезпека раптового руйнування, втрати стійкості або перекидання; експлуатація будівлі або споруди можлива або при контролі (моніторингу) технічного стану, або при проведенні необхідних заходів по відновленню або підсиленню конструкцій і (або) ґрунтів основи і подальшому моніторингу технічного стану (при необхідності).

Аварійний стан [2] - категорія технічного стану будівельної конструкції або будівлі та споруди в цілому, включаючи стан ґрунтів основи, що характеризується пошкодженнями і деформаціями, що свідчать про вичерпання несучої здатності і небезпеку обвалення і (або) характеризується креном, який може викликати втрату стійкості об'єкта.

Швидкість агресивного впливу навколишнього середовища на конструкції будівельних та інженерних споруд останнім часом значно зросла. Про це свідчать числені тріщини, що з'являються на фасадах будівель, досить часті обвалення конструкцій, доріг і окремих елементів, осідання будівель, відшарування облицювання і фарбування фасадів, руйнування цегляних карнизів, балконів, цоколів, відмосток, корозія покрівельних матеріалів, гниття віконних і дверних заповнень [3]. Запобігти цьому можна за допомогою вчасних обстежень і ремонту.

Мета обстеження полягає у визначенні дійсного технічного стану будівлі або інженерної споруди і їх елементів, отриманні кількісної оцінки фактичних показників (міцності, опору теплопередачі і ін.) [1].



Обстеження технічного стану будівлі (споруди) - це комплекс заходів щодо визначення та оцінки фактичних значень контрольованих параметрів, що характеризують працездатність об'єкта обстеження і визначають можливість його подальшої експлуатації, реконструкції або необхідність відновлення, посилення, ремонту, і включає в себе обстеження ґрунтів основи і будівельних конструкцій на предмет виявлення зміни властивостей ґрунтів, деформаційних ушкоджень, дефектів несучих конструкцій і визначення їх фактичної несучої здатності [4].

Технічний стан об'єкта в цілому є функцією працездатності окремих конструктивних елементів та зв'язків між ними. Математичний опис процесу зміни технічного стану об'єктів, що складаються з великої кількості конструктивних елементів, досить складна задача. Це обумовлено тим, що процес зміни працездатності характеризується невизначеністю і випадковістю впливів на об'єкт.

Чинники, що викликають зміни працездатності в цілому і окремих елементів, підрозділяються на 2 групи: внутрішнього і зовнішнього характеру.

До групи причин внутрішнього характеру відносять [5]:

- фізико-хімічні процеси, що протікають в матеріалах конструкцій;
- конструктивні фактори;
- якість виготовлення.

До групи причин зовнішнього характеру відносять [5]:

- кліматичні чинники (температуру, вологість, сонячну радіацію);
- фактори навколишнього середовища (вітер, пил, біологічні чинники);
- якість експлуатації.

## **1.2 Види порушень технічного стану**

У загальному випадку порушення технічного стану відбувається через наявність у конструкції дефектів та пошкоджень.

Дефект - це невідповідність, будь-яких параметрів конструкції нормативним вимогам, проекту [6].

Пошкодження [7] - будь-яке порушення цілісності будівельних конструкцій або їх елементів в процесі експлуатації, викликане наявністю дефектів або зовнішніми факторами.

При обстеженні технічного стану будівель і споруд різного призначення виділяють наступні основні їх типи [7]:

- кам'яні (цегляні);
- з залізобетонним каркасом;
- монолітні залізобетонні;
- великопанельні та великоблочні;
- з об'ємних блоків;
- зі сталевим каркасом;
- дерев'яні.

Найбільш небезпечні дефекти в підставах і фундаментах, в стінах, тобто в основних несучих елементах, так як їх прояв веде до деформацій і руйнування всієї будівлі. Менш небезпечні дефекти в перегородках і інших несучих елементах, проте вони істотно знижують експлуатаційні якості в цілому [8].

На рис. 1.1 приведена схема класифікації пошкоджень та дефектів у загальному вигляді [8].

Дефектами досліджень і проектування [9] є такі, які допущені при виборі ділянки будівництва і оцінці ґрунтів, а також при виборі матеріалів, конструкцій, визначених навантажень, перетинів і т.п. Деякі дефекти виявляються вже під час будівництва через неточності або неповноти креслень, відсутності в проектах необхідних вказівок, у зв'язку з чим, будівельникам доводиться самим вирішувати те чи інше питання, виходячи лише з наявних матеріалів і власних можливостей.

Дефектами будівництва [6] є порушення технічних умов виробництва робіт, недбалість у відборі матеріалів, невиправдана заміна їх у ході будівництва.

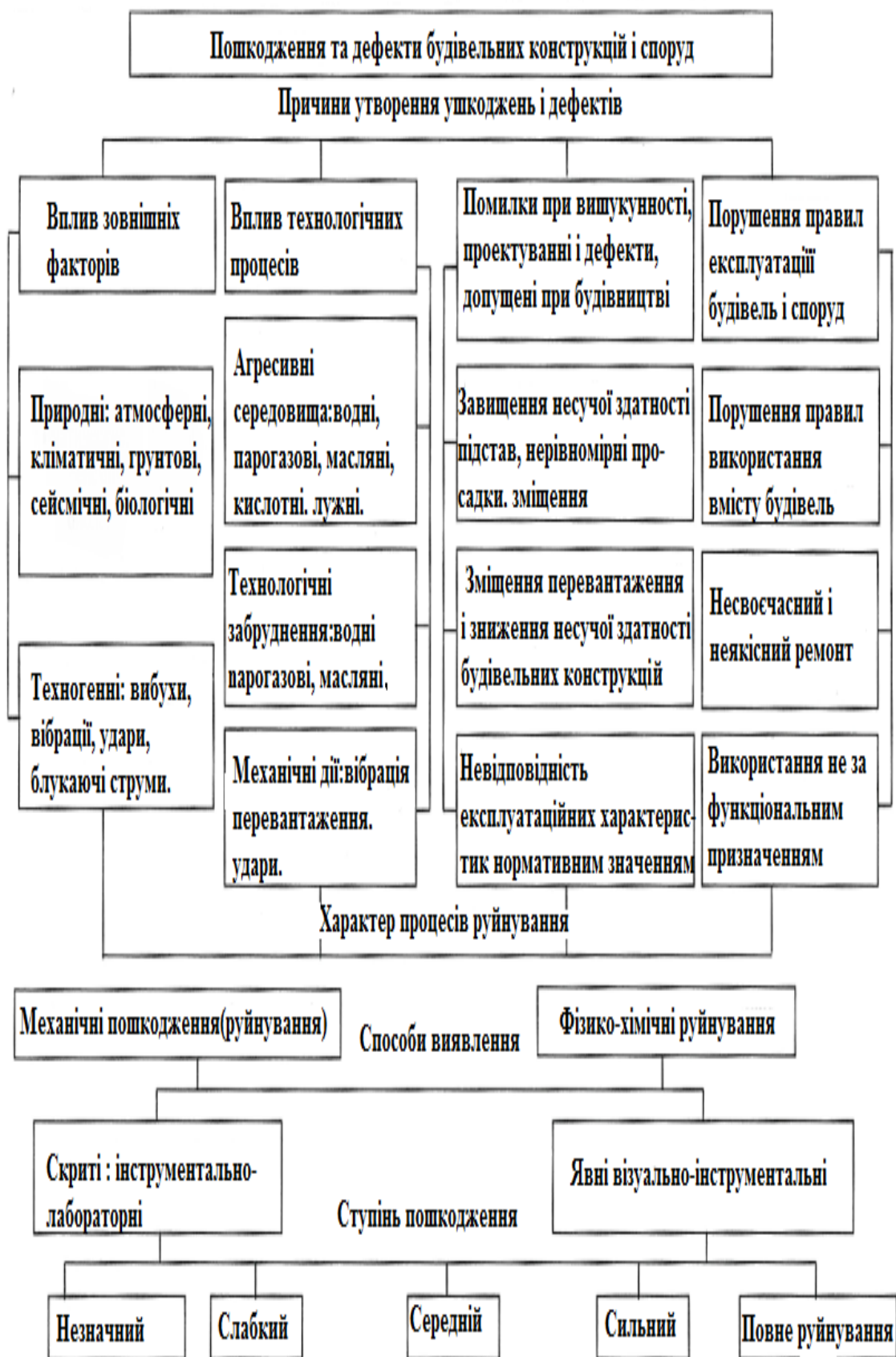


Рисунок 1.1 – Пошкодження та дефекти будівельних конструкцій та споруд

За характером дефекти підрозділяються на приховані, невидимі при зовнішньому огляді, і явні. За значущістю (небезпекою) вони діляться на три групи [6]:

- дефекти, які можуть призвести до аварії. При виявленні таких дефектів їх треба негайно усувати;
- дефекти, які не загрожують цілісності конструкцій, але ослабляють або знижують експлуатаційні якості; тому вони також повинні бути усунені. До цієї групи належать дефекти стиків, промерзання стін;
- дефекти, які не призводять до руйнування конструкцій, але знижують їх експлуатаційні якості і вимагають додаткових витрат на експлуатацію.

Вивчення і класифікація дефектів конструкцій дають можливість обґрунтовано прогнозувати можливу небезпеку, своєчасно вживати заходів по локалізації або усунення, а також сприяють запобіганню повторних помилок при проектуванні і будівництві [6].

### **1.3 Характеристика тріщин**

Багато елементів споруд містять конструктивні та технологічні концентратори напружень, які при експлуатаційних умовах навантаження зумовлюють накопичення, формування і розвиток ушкоджень. Одними з найпоширеніших пошкоджень, що обмежують терміни безпечної експлуатації виробів, є поверхневі ненаскрізні тріщини різної форми і орієнтації. Двовісні навантаження, що виникають в елементах обшивки літаків, роторах парових турбінах, трубопроводах, посудинах тиску та ін. призводить до утворення тріщин, площина розташування яких довільно орієнтована в просторі. У зв'язку з цим останнім часом фахівці приділяють особливу увагу подібним завданням, які в механіці руйнування відносяться до розділу змішаних форм деформування [10].

Тріщина - це пошкодження, що представляє собою область з повністю порушеними міжатомними зв'язками (берега тріщин) і частково порушеними міжатомними зв'язками (вершина тріщини). Поверхня розділу берегів називається

фронтом тріщини. Закономірності появи і зростання тріщин вивчаються розділом фізики твердого тіла - механікою руйнування [11].

Процес руйнування складається з двох стадій - зародження тріщини та її поширення, причому кожна з цих стадій підпорядковується своїми законам. Серед критеріїв міцності є такі, які описують як умови зародження тріщини, так і умови поширення тріщини. Перші з них фактично є умови настання небезпечного стану в точці в розглянутий момент (класичні теорії міцності). Інші виходять з наявності в тілі тріщини.

Причини виникнення тріщин в стінах можуть бути різними. Вони можуть бути ознакою недостатньої несучої здатності ґрунтової основи споруди та виникають внаслідок змін саме в ґрунті під об'єктом [12].

Якщо виникають значні вібрації, високі температури, а також зовнішні впливи, такі як вітер, дощ і навіть жвавий рух транспорту, то це теж може активізувати виникнення тріщин в окремих елементах будівлі [12].

Поява тріщин і їх частота пов'язані з наступними причинами [13]:

- нерівномірні деформації основ фундаментів (65-75%);
- перевантаження конструкцій (10-15%);
- температурні деформації (10-15%);
- деформації кам'яної кладки, пов'язані з її зволоженням - повзучість, набухання, усадка (5-8%);
- форс-мажорні обставини: пожежа, землетрус, терористичний акт, і динамічний вплив транспорту (2-5%).

Поведінка тріщини в конструктивному елементі залежить від здатності матеріалу чинити опір росту тріщини, значень і характеру прикладених навантажень, впливу навколишнього середовища, довжини тріщини [11].

### **1.3.1 Типи тріщин**

У залежності від розташування фронту тріщини щодо прикладеного навантаження розрізняють три типи тріщин [11]:

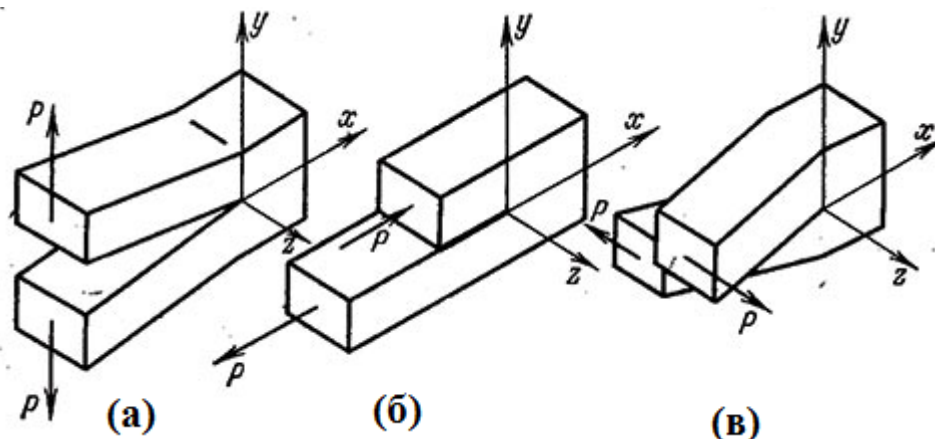


Рисунок 1.2 -Типи тріщин: а) розрив б) зрушення в) зріз

При відірвних напруженнях виникає тріщина типу «**розрив**» (тип I) (рис. 1.2.а), коли берега тріщини переміщуються перпендикулярно площині тріщини. При плоскому зсуві утворюється тріщина типу «**зрушення**» (тип II) (рис. 1.2.б): переміщення берегів тріщини відбуваються в площині і перпендикулярно її фронтальній лінії. Тріщина типу «**зріз**» (тип III) (рис. 1.2.в) утворюється при антиплоскому зсуві: переміщення берегів тріщини збігаються з площиною тріщини і паралельні її напрямляючій кромці [14].

При дії циклічних навантажень або при спільному впливі навантажень та на-вколишнього середовища з плином часу тріщина буде рости. Чим довша тріщина, тим більшу концентрацію напружень вона викликає. Це означає, що швидкість розвитку тріщини з плином часу буде збільшуватися. Через наявність тріщини міцність конструкції зменшується; вона стає менше, ніж вихідна міцність, що була розрахована. Також міцність конструкції зменшується з ростом розміру тріщини [15].

Процес руйнування матеріалу зосереджений в малій околиці вершини тріщини, де дуже висока концентрація напружень, обумовлена малим радіусом заокруглення [16].

### 1.3.2 Коефіцієнт інтенсивності напружень

У наш час для розрахунку міцності та довготривалості конструкцій з тріщинами використовують механіку руйнування. На першому етапі визначають параметр механіки руйнування, такий як коефіцієнт інтенсивності напружень.

Коефіцієнт інтенсивності напружень (КІН) є показником інтенсивності напружень у вершині тріщини. Наявність більш високого коефіцієнта інтенсивності напружень говорить про більш високі напруження на лінії продовження тріщини [17]. Отже, КІН є мірою сингулярності напружень в околі тріщини.

Даний коефіцієнт залежить від характеру та рівня напруження, а також довжини тріщини.

Основні методи для визначення КІН [18]:

- Прямий метод;
- Метод лінійного інтегрування;
- Метод податливості

Прямий метод заснований на розподілі напружень або переміщень поблизу вершини тріщини, що описуються залежністю зв'язаною з КІН. Отже, якщо знати розподіл напружень або переміщень, можна визначити величину КІН. Для визначення КІН даним методом використовують побудову дрібної сітки скінчених елементів (СЕ).

До прямих методів, також можна віднести методи в яких використовують додатковий елемент, який враховує вид та особливості напружень на вершині тріщини.

Метод лінійного інтегрування заснований на чисельному визначенні інтегралу, який зв'язаний з КІН певним співвідношенням.

Метод податливості або енергетичний метод заснований на визначенні потенційної енергії тіла при двох довжинах тріщини. Цьому методу притаманно введення невеликих елементів та місцеве згущення сітки, що дозволяє легко вивести обчислення для широкого діапазону довжин тріщин та забезпечує більш кращу точність.

#### **1.4 Методи та засоби визначення напружено-деформованого стану об'єкта**

При експлуатації небезпечних виробничих об'єктів (нафтогазової галузі, розплави чорних та кольорових металів, горючі, вибухові, токсичні розчини) тривалий вплив конструктивно-технологічних і експлуатаційних факторів з часом викликає зниження надійності та безпеки (через наявність дефектів та/або пошкоджень), що

призводить до порушення його працездатності і руйнування. Для своєчасного виявлення і усунення пошкоджень, що передують руйнуванню проводять оцінку ресурсу безпечної експлуатації [19]. Одним із способів отримання достовірною інформації про технічний стан є використання методів неруйнівного контролю, основною метою яких є виявлення дефектів у матеріалі обладнання та зон концентрації напружень. Оцінка напружено-деформаційного стану (НДС) є основою для висновку про працездатність (безпечну експлуатацію) та визначення залишкового ресурсу [20].

У процесі експлуатації в зонах концентрації напружень спостерігається більш високий рівень пошкоджень. Тому оцінка НДС з виявленням зон концентраторів напруг є однією з головних задач при діагностиці нафтогазового обладнання.

На сьогоднішній день все різноманіття існуючих методів визначення НДС конструкцій можна класифікувати за чотирма групами [21]:

- Розрахункові методи з використанням теорій пружно-пластичного стану.
- Аналітичні методи дослідження НДС базуються на відомій ідеалізації об'єкта дослідження, властивостей конструкційних матеріалів, режимів експлуатації об'єкта. Вони не враховують зміну технічного стану об'єкта при експлуатації (старіння конструкційних матеріалів, перерозподілу навантаження між елементами конструкції, корозію, знос) [20].
- Експериментальні методи, засновані на принципі «трепанації» - з частковою або загальною механічною трепанацією (поділом) елементів конструкції з використанням механічних інструментальних приладів, електричних тензодатчиків, твердометрії, лазерної інтерферометрії.
- Розрахунково-експериментальні неруйнівні методи визначення НДС елементів конструкції, засновані на встановленні зв'язку між деформацією кристалічної решітки і діючими напруженнями [4].

В основі традиційних методів розрахунку НДС апаратів, технологічних трубопроводів лежить теорія тонкостінних оболонок.



До більш загальних методів розрахунку НДС конструкцій різної конфігурації, що дозволяє розраховувати НДС конструкцій, які відрізняються від правильних геометричних форм (з урахуванням дефектів монтажу, місць корозії та інших дефектів) відносяться методи граничних і скінченних елементів.

#### **1.4.1 Метод скінченних елементів**

Метод скінченних елементів (МСЕ) - це чисельний метод вирішення диференціальних рівнянь з приватними похідними, а також інтегральних рівнянь, що виникають при вирішенні завдань прикладної фізики. Метод широко використовується для вирішення завдань механіки деформованого твердого тіла, теплообміну, гідродинаміки і електродинаміки [21].

МСЕ відноситься до варіаційно-різницевого наближених методів вирішення завдань поля. Суть методу полягає в переході від континуальної розрахункової моделі суцільного тіла до дискретної моделі, що складається зі скінченних елементів простої геометричної форми (трикутників, тетраедрів і ін.). Завдання відшукування полів напружень та деформацій у суцільній моделі зводиться до відшукування напружень і деформацій у кінцевому числі вузлових точок, що з'єднують скінченні елементи [20].

Залежно від типу конструкції і характеру її деформації кінцевих елементів (СЕ) можуть мати різну форму. Так, при розрахунку стрижневих систем (ферми, балки, рами) СЕ - є ділянками стрижнів; для двовимірних континуальних конструкцій (пластини, плити, оболонки) найчастіше застосовують трикутні і прямокутні (плоскі або вигнуті) СЕ; а для тривимірних областей (товсті плити, масиви) - СЕ у формі тетраедра або паралелепіпеда. На відміну від реальної споруди в дискретній моделі кінцеві елементи зв'язуються між собою тільки в окремих точках (вузлах) визначеним кінцевим числом вузлових параметрів [22].

В наш час метод скінчених елементів застосовується для вирішення широкого кола задач:

- стаціонарні задачі поширення тепла, дифузії, розподілу електричного поля, інші задачі теорії поля;
- завдання гідромеханіки, зокрема, протягом
- рідини в пористому середовищі;
- завдання механіки і міцності, в тому числі проектування
- літаків, ракет і різних просторових оболонок.

Види МСЕ [22]:

Розрізняють чотири основних методів скінченних елементів:

- Прямий метод
- Варіаційний метод
- Метод нев'язок
- Метод енергетичного балансу

В основі прямого методу лежать положення, які використовувалися на ранній стадії розвитку МСЕ. Цей метод зручний своєю простотою і очевидним геометрично-фізичним значенням окремих кроків апроксимації. Співвідношення для КЕ тут будуються безпосередньо на основі трьох груп рівнянь (трьох сторін завдання): статичної, геометричної та фізичної. Однак область застосування прямого методу велими обмежена: його можна використовувати лише для кінцевих елементів простої геометрії з малим числом ступенів свободи у вузлі.

Варіаційний метод заснований на принципах стаціонарності деякої змінної, що залежить від однієї або декількох функцій. Стосовно до механіки деформованого твердого тіла ця змінна є потенційною або додатковою енергією системи або формується на основі цих двох енергій. На відміну від прямого варіаційний метод може однаково успішно застосовуватися як до простих, так і складних завдань.

Метод нев'язок є найбільш загальний підхід до побудови основних співвідношень МСЕ. Цей метод застосовують при вирішенні завдань, у яких важко або неможливо сформулювати варіаційне рівняння. Щоб отримати "найкраще" рішення, необхідно мінімізувати деякий інтеграл від нев'язок по розрахунковій області. Для підвищення ефективності в підінтегральний вираз поряд із самою нев'язкою зазвичай

вводиться так звана вагова функція, в цьому випадку метод називається методом зважених нев'язок. Вибір схеми мінімізації та вагових функцій визначає різні варіанти методу нев'язок.

Метод енергетичного балансу заснований на балансі різних видів енергії, записаному в інтегральній формі. Цей метод успішно застосовується при вирішенні нелінійних і динамічних задач.

#### **1.4.2 Розбиття сітки скінчених елементів, побудованої на основі геометричної трьохвимірної моделі.**

Розрахункова сітка кінцевих елементів потрібна для двох цілей. Перша - розбиття змодельованих в САПР геометрій на менші частини або елементи. За ним можна записати систему рівнянь, що описує рішення головного рівняння. Друга - сітка використовується для відображення області рішень фізичних задач [23].

При виконанні статичного розрахунку визначається напружено-деформований стан об'єкта. Результатами статичного розрахунку є величини напружено-деформованого стану, а результатами частотного аналізу є власні частоти об'єкта та відповідні власні форми коливання. Форми коливання, в свою чергу являють собою відносні амплітуди переміщення об'єкта у вузлах скінченно-елементної сітки. За допомогою форм можливо визначити характер руху, що визначається системою частоти коливання [24].

Дискретизація області - це завдання числа, розмірів і форми подобластей. З одного боку, елементи повинні бути обрані досить малими, щоб мати високу точність, а з іншого боку - чим менше елементів - тим менше обсяг обчислень. Є оптимальна кількість цих подобластей. Все залежить від градієнтів шуканої величини в межах розрахункової області. Там де він вище - там елементи повинні бути менше і навпаки [25].

Розбиття розрахункової області на кінцеві елементи для побудови дискретної моделі реального тіла складається з завдання [26]:

- числа СЕ;

- розмірів СЕ;
- форми підобластей (СЕ).

При розбитті розрахункової області потрібно враховувати, що елементи повинні бути вибрані достатньо малими, для визначення кращих результатів при вирішенні задачі.

Розрізняють три області при використанні метода скінченних елементів[27]:

- Одномірні СЕ - відрізок (2 (лінійний), 3 (квадратичний) або 4 (кубічний) вузла). Може бути криволінійним та мати змінний поперечний переріз. Часто використовується в задачах поширення тепла і в будівельній механіці при розрахунках стрижневих елементів (ферми).

- Двовимірні СЕ - трикутники і чотирикутники (лінійні, квадратичні та кубічні). Сторони лінійних СЕ - прямі лінії. Для трикутника мінімальне число вузлів - 3, для чотирикутника - 4. Додавання вузлів може бути на сторонах (криволінійні кордону), або всередині СЕ. Обидва типи СЕ можна використовувати одночасно, тільки потрібно мати однакове число вузлів на стороні. Товщина СЕ може бути функцією координати.

- Тривимірні СЕ - тетраедр і паралелепіпед (лінійні, квадратичні та кубічні). Лінійні елементи мають тільки прямі кордони, а квадратичні можуть мати криволінійні поверхні.

При розбитті розрахункової трьохвимірної області на кінцеві елементи розрізняють чотири типи скінченних елементів тетраїди, гексаїди, призми та піраміди (рис.1.3) [28].

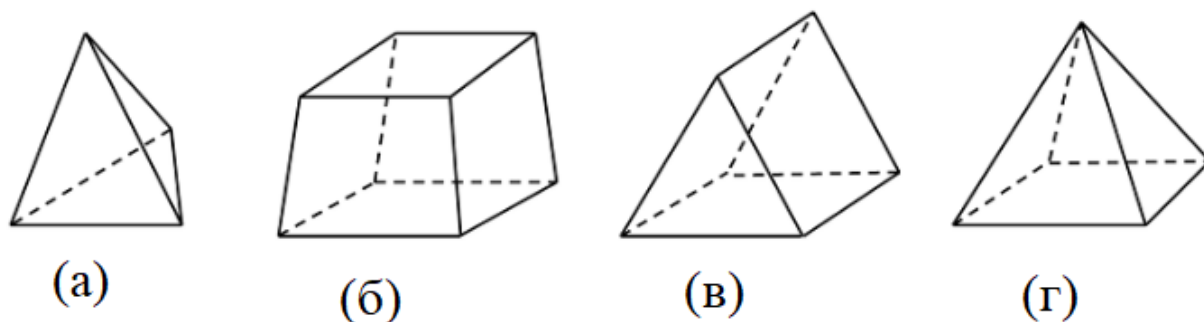


Рисунок 1.3 Типи вимірювальних елементів: а) тетраїд, б) гексаїд, в) призма, г) піраміда.

Ці чотири елементи можуть бути використані в різноманітних комбінаціях для побудови сітки трьохвимірної моделі.

### **1.5 Моніторинг та діагностика**

Підтримка надійності елементів обладнання на належному рівні можливо при проведенні профілактичних робіт на підставі результатів діагностики неруйнівного контролю та моніторингу діагностичних показників протягом усього періоду експлуатації об'єкту [29].

Моніторинг – це процес спостереження за об'єктом, який включає в себе періодичне зняття параметрів, їх реєстрацію, зберігання та аналіз. Комплекс заходів завжди розтягнутий в часі і дозволяє вивчити властивості об'єкта в динаміці, зрозуміти напрямки його розвитку, виявити приховані проблеми [30].

Моніторинг технічного стану будівель і споруд проводять для [31]:

- контролю технічного стану будівель і споруд та своєчасного вжиття заходів щодо усунення виникаючих негативних факторів, що ведуть до погіршення цього стану;
- виявлення об'єктів, на яких відбулися зміни напружено-деформованого стану несучих конструкцій і для яких необхідно обстеження їх технічного стану;
- забезпечення безпечного функціонування будівель та споруд за рахунок своєчасного виявлення на ранній стадії негативної зміни напружено-деформованого стану конструкцій і ґрунтів підстав, які можуть спричинити перехід об'єктів в обмежено працездатний або в аварійний стан;
- відстеження ступеня і швидкості зміни технічного стану об'єкта і прийняття в разі необхідності екстрених заходів щодо запобігання його обвалення.

Діагностика - поверхневе або повне вивчення стану об'єкта, що припускає активну взаємодію з ним. Головна мета - виявлення несправностей і неполадок, що впливають на коректну роботу системи з їх подальшим усуненням [30].

В наш час система технічного діагностування являє собою комплекс методів та засобів сучасного контролю на всіх етапах будівництва та експлуатації об'єкта.

Технічна діагностика застосовується для визначення дефектів, працездатності об'єкта, запобігання технічних норм та стандартів в процесі його експлуатації.

Технічна діагностика – це галузь знань, що охоплює теорію, методи і засоби визначення технічного стану об'єкта. Призначення технічної діагностики в загальній системі технічного обслуговування - зниження обсягу витрат на стадії експлуатації за рахунок проведення цільового ремонту [32].

Метою діагностування є своєчасне виявлення дефектів, що знижують експлуатаційну надійність конструкції.

Система технічного діагностування включає [33]:

- обстеження (огляди, вимірювання) комплексом методів і засобів з оцінкою параметрів технічного стану, що характеризують на різних етапах справність і працездатність;

- спостереження за динамікою умов експлуатації, включаючи виміри тиску, температури продукту і навколишнього середовища, рівня ґрунтових вод, ореолів відтавання і промерзання ґрунту, вимір корозійної активності ґрунту, зовнішніх навантажень і впливів ;

- фіксація деформацій об'єкта і переміщень ґрунтів, що оточують 'трубопровід і на прилеглих територіях, і зміна інших умов експлуатації, а також екологічної ситуації в зоні, що оточує контрольовані об'єкти.

Сучасні підприємства стрімко збільшують свої показники виробничо-небезпечних об'єктів. Таким чином, в даний час зростають вимоги і до методів діагностики стану об'єктів - вони повинні давати можливість швидко і в повній мірі оцінити дійсні характеристики конструкцій, а також бути простими і мобільними, щоб використовуватися на будь-якому етапі виробництва та експлуатації [31].

Саме тому діагностика та моніторинг технічного стану конструкції особливо необхідні при визначенні придатності для експлуатації або необхідності посилення конструкції. Один з напрямків обстеження конструкцій - діагностика тріщин, які стають причинами пошкодження елементів. Основні застосовувані методи спрямо-

вані на визначення характеристик процесу утворення тріщин: форми і швидкості утворення [31].

## 1.6 Огляд існуючих робіт

У процесі освоєння нових теорій найбільш активний вплив на навколишнє середовище здійснюється в межах територій родовищ, трас лінійних споруд (в першу чергу магістральних трубопроводів), у найближчих населених пунктах. Особливо гостро забруднення навколишнього середовища позначається в місцях нафтовидобутку і нафтопереробки. Екологічні проблеми, що мають глобальний соціальний характер, найбільш яскраво проявилися в нафтопереробній галузі [36].

Важливу роль у даній галузі відіграє зберігання природних ресурсів в спеціальних конструкціях, до яких відносять резервуари, цистерни, спеціалізовані баки та ін. У залежності, від технічного стану та експлуатації конструкції, використовують спеціальні умови зберігання та експлуатації. Це, у свою чергу, приводить до необхідності ретельного контролю, моніторингу та діагностики технічного стану конструкцій та споруд [37].

Хайбуллін Л.В. [38] виконав короткий літературний огляд публікацій, присвячених оцінці напружено деформованого стану обладнання нафтової галузі. Представлені всі різноманітні методи визначення напружено-деформованого стану конструкцій. Їх умовно можна класифікувати на розрахункові методи та експериментальні методи з використанням механічних інструментальних приладів, електричних тензометрів.

У роботі І.П. Аістова та К.А. Вансовича [39] запропоновано розрахунковий алгоритм геометричної моделі стінки сталевого вертикального циліндричного резервуара для зберігання нафти і нафтопродуктів з обліком недосконалостей. Така модель дозволяє вивчити вплив спотворень геометричної форми стінки резервуара на його міцність.

А в роботі А.А. Крисько та Е.В.Конопацького [40] була розглянута проблематика вертикальних сталевих циліндричних резервуарів, що призначені для зберігання нафти на нафтопродуктів. Об'єм таких резервуарів становить від 100 до 50000 м<sup>3</sup>. При транспортуванні, монтажі та експлуатації резервуари приймають форму, що відрізняється від форм ідеального циліндра. У зв'язку з заданою проблемою, виникло питання про вивчення впливу деформації геометричної форми резервуарів на їх міцність. Для обліку деформацій геометрії при розрахунках на міцність та стійкість циліндричної стінки резервуару необхідно було встановити аналітичний опис її дійсної поверхні. Для цього було запропоновано геометричну модель стінки сталевих вертикального циліндричного резервуара з недоліками, що є вихідними даними для розрахунку резервуару на міцність та стійкість. У роботі було запропоновано єдиний критерій росту втомних тріщин для різних ступенів двухосності напруженого стану. Досліджено напружений стан зразка. Установлено вплив двухосного навантаження на швидкість росту втомної тріщини і її зв'язок з коефіцієнтом трьохосності напруженого стану.

У роботі І.Д.Сальманова [41] запропоновано розгляд залишкових напружень та деформацій при зварюванні. Зварювання є одним з найчастіших застосованих видів з'єднання для металевих деталей та конструкцій. Воно використовується практично у всіх галузях промисловості, у тому числі і будівництві. Головним з недоліків даного типу з'єднання є виникнення залишкових напружень та деформацій у процесі зварювання. У даній роботі був проведений огляд та аналіз існуючих робіт а тему зварних залишкових напружень та деформацій, була створена класифікація, виявлені основні причини виникнення. Також були розглянуті способи визначення зварних напружень та деформацій, а також виявлені способи їх попередження. Показано, що найбільш прогресивним методом визначення напружень та деформацій при зварці є комп'ютерне моделювання з використанням спеціалізованого програмного забезпечення, яке засноване на методі скінченних елементів (таких, як ANSYS, SYSWELD та ін.). Такий метод дозволяє більш детально враховувати та аналізувати перерозподіл напружень при зварюванні.



За даною тематикою була представлена робота Е.А. Суренського під керівництвом Ю.Д.Байчукова [42] результатів. У роботі були представлені питання крихкого руйнування конструкцій як при проектуванні, так і при виробництві. Саме в зоні зварних швів утворюються різноманітні дефекти, які при термосиловому навантаженні формуються у тріщину. На практиці тріщини можуть мати довільну орієнтацію та знаходитись у різних температурних умовах, це обумовлено технологією виготовлення зварних споруд і трубопроводів.

У роботі К.І.Брикін [3] була розглянута прямокутна пластина, що була схильна до чистого згину. У пластині є початкова поперечна тріщина напівеліптичної форми. Був визначений коефіцієнт інтенсивності напружень по фронту тріщини за допомогою аналітичного методу розрахунку. Проведено порівняння отриманих результатів та чисельних значень, розрахованих за допомогою пакету ANSYS. Проведені розрахунки тріщин на живучість (прогнозування довговічності пластини). У результаті виконання цієї роботи було запропоновано метод, що дозволяє прогнозувати довговічність пластини.

У дослідженні Н.А. Махутова, І.В. Макаренко та Л.В. Макаренко [43] з механізму та кінетики руйнування поверхневих різно орієнтованих напівеліптичних тріщин при складному напружено-деформованому стані за допомогою деформаційних критеріїв нелінійної механіки руйнування було запропоновано функціональні залежності визначення напружено-деформованого стану по контуру поверхні різноорієнтованих малоциклових напівеліптичних тріщин з урахуванням об'ємної анізотропії фізико-механічних властивостей матеріалу, що дозволяють проводити уточнену оцінку міцності та довговічності обладнання.

У роботі Котова М.Ю. та Бикова Л.І. [44] розглянута задача оцінки достовірності розрахункових методик, одним з найбільш ефективних способів вирішення якої є експериментальне дослідження дійсних умов роботи переходу. У статті наведено результати експериментального дослідження напружено-деформованого стану балочного трубопровідного переходу. Дослідження проводилося за допомогою тензOMETричного обладнання, детально описано хід експерименту і його підсумки. Дос-

ліджені питання, пов'язані зі зміною висотного положення опор з метою створення рівномірної конструкції. Визначено розбіжності між експериментальним та розрахунковим значенням напружень, що дозволяють судити про адекватність отриманих результатів. Значення розбіжностей напружень, отриманих розрахунковим і експериментальним шляхом, мають як позитивний, так і негативний знак і лежать в діапазоні 25%, що говорить про їх адекватність для даного способу проведення вимірювань. Таким чином можна говорити про відповідність теорії і експерименту в цілому, а також про експериментальне підтвердження гіпотези про можливість отримання рівномірної балочної трубопровідної конструкції.

У статті В.О. Гришина, В.О. Гришина, В.В. Реут. [45] досліджувалася задача про напружений стан пластинчастої конструкції з тріщинами. Наведено результати розрахунку коефіцієнтів інтенсивності напружень для різних співвідношень геометричних розмірів конструкції.

Актуальна тематика була розглянута у роботі Алексєєва А.А. [46], де у ході дослідження був проведений аналіз руйнувань великогабаритних металевих конструкцій (магістрального газопроводу і нафтових резервуарів), що експлуатувалися в умовах Крайньої Півночі. Показано, що катастрофічні аварії великогабаритних тонкостінних конструкцій (трубопроводів великого діаметру, резервуарів, посудин тиску та ін.) відбуваються не тільки при протяжному поширенні крихкої або в'язкої тріщини, але і при її розгалуженні, що призводить до уламкового характеру руйнування конструкції з одночасним рухом багатьох тріщин. Характер руйнування залежить від рівня руйнівного напруження: при високих рівнях руйнівного напруження тріщина поширюється з високою швидкістю і в результаті розгалуження тріщини відбуваються уламкові руйнування, при низьких рівнях руйнівного напруження тріщина поширюється з невеликою швидкістю і не призводить до масштабних руйнувань, тріщина зупиняється, викликаючи пошкодження об'єкта.

У роботі Полкунова Ю.Г. та Спиридонової Е.В. [47] розглядається розробка критеріїв розвитку тріщин в площині. Були встановлені залежності коефіцієнта інтенсивності напружень першого роду від фізико-механічних властивостей матеріа-

лу, довжини навантаження та відстані до нахилу тріщини. Результати моделювання були підтверджені аналітичними розрахунками.

У роботі Муратова М.В., Петрова И. Б. та Левінта В. Б. [48] зроблено повний опис розроблених математичних моделей тріщин, які можуть бути застосовані для чисельного рішення задач з використанням сіточно-характеристичного методу на неструктурованих трикутних (у двовимірному випадку) і тетраедральних (у тривимірному випадку) сітках. Такий метод дозволяє коректно обраховувати динамічні процеси в умовах неоднорідностей в області інтегрування. В основі розроблених моделей неоднорідностей лежить концепція нескінченно-тонкої тріщини - тріщина задається у вигляді контактного кордону. Такий підхід помітно скорочує споживання обчислювальних ресурсів за рахунок відсутності необхідності завдання сітки всередині тріщини. Основним завданням при розробці моделей було отримання максимального точного результату. Розроблялися моделі, що дозволяють отримати відгук, близький до відгуку реально існуючої тріщини в геологічному середовищі.

У роботі Цибульника С.О. [27] Ефективний засіб захисту резервуарів від вітрового навантаження. Було зроблено аналіз причин виходу резервуарів з ладу, він показав, що в більшості випадків це відбувається через концентрацію напружень в області дефекту або тріщини при низькій температурі зовнішнього середовища. Було запропоновано засіб для зниження вітрового навантаження на резервуар. Для перевірки ефективності побудовано сімдесят п'ять геометричних моделей.

У роботі Кангарлу Камбіза[49] було досліджено вплив геометричних параметрів резервуарів і рівня їх заповнення рідиною на величини гідродинамічного навантажень, власні частоти і форми коливань, характер напружено-деформованого стану конструктивних елементів.

На основі спектрального аналізу за допомогою програми ANSYS-12 виконані розрахунки по визначенню гідродинамічного тиску на стінки і динамічної реакції взаємодії корпусу резервуара з рідиною при сейсмічних впливах.

Виконано дослідження характеру деформування і напруженого стану дна і оболонки резервуара біля краю підстави, з визначенням довжини піднятою зони і величин стискаючих напруг в стінці резервуара, обумовлених підведення.

У роботі [50] вирішена класична задача про коливання рідини в резервуарі під дією зовнішньої масової сили (сейсміка, рух цистерн на пружному зчепленні, коливання палива в баку і т. п.), коли відбувається втрата стійкості початкового руху.

На важку рідину, яка заповнює половину обсягу циліндричного резервуара, діє в поздовжньому напрямку періодична змушуюча сила.

При певних частотах і амплітудах зовнішньої сили з плином часу протягом перестає бути плоскопаралельними і виникають несиметричні коливання в поперечній площині.

Діюча при цьому на резервуар бічна компонента сили порівнянна по величиною з поздовжньою.

У роботі Цибульника С.О. [51] Вдосконалення засобів функціональної діагностики та захисту резервуарів на основі імітаційного моделювання. Вирішена актуальна науково-практична задача вдосконалення засобів функціональної діагностики резервуарів та засобів їх захисту від вітрового навантаження на основі імітаційного моделювання для забезпечення безаварійної експлуатації резервуарів, що знаходяться у важкодоступних місцях під впливом динамічних та кліматичних навантажень.

Огляд робіт інших авторів за темою дисертації показав, що більшість дослідів присвячені аналізу причин та механізмів розвитку тріщин у тонкостінних металевих конструкціях (резервуарах, трубопроводах). Деяка кількість робіт присвячена розрахунку та аналізу коефіцієнтів інтенсивності напружень при наявності тріщин в об'єктах. Імітаційне моделювання також зосереджено в цій області, але є інші роботи по дослідженню власних частот тонкостінних конструкцій та впливу зовнішніх навантажень на напружено-деформований стан резервуарів для зберігання екологічно-небезпечних речовин. З іншого боку, дослідження напружено-деформованого стану вертикальних сталевих зварних резервуарів при дії тиску від речовини, що в

них зберігається, за наявності у зварних швах багатоосередкового пошкодження є обмеженими.

Усе це дозволяє сформулювати мету дисертаційної роботи та завдання, необхідні для її досягнення.

### **1.7 Мета роботи**

Метою роботи є визначення найбільш інформативних точок на стінках вертикального сталевих резервуара для встановлення датчиків, а також порогових значень напружень та деформацій при його багатоосередковому пошкодженні.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні науково-практичні завдання:

1. Огляд причин аварій на інженерних та будівельних об'єктах.
2. Огляд світового досвіду імітаційного моделювання багатоосередкового пошкодження об'єктів в експлуатації.
3. Геометричне моделювання зварного резервуара вертикального сталевих.
4. Імітаційне моделювання резервуара без пошкоджень зварних швів.
5. Імітаційне моделювання резервуара з багатоосередковим пошкодженням зварних швів.
6. Аналіз напружень та деформацій для визначення місць встановлення датчиків на резервуарі.

## РОЗДІЛ 2

### ПОБУДОВА ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТА

Сучасні тенденції в будівництві призводять до виникнення негативного техногенного впливу. Саме тому, моніторинг та діагностика складних інженерних конструкцій набули актуальності по ряду причин, таких як: наявність дефектів виготовлення, пошкодження в процесі транспортування, монтажу та експлуатації, не ефективне проведення ремонтних робіт, використання об'єкта після закінчення нормативного строку експлуатації.

Однією із відповідальних конструкцій є резервуар вертикальний сталевий. Дуже часто ці об'єкти розташовуються у важкодоступних місцях і знаходяться у складних умовах експлуатації.

Наявність деформацій та тріщин можуть призвести до впливу продукту, що зберігається, що в свою чергу, може привести до погіршення екологічного стану та завдати шкоди здоров'ю людей. Запобігти даній ситуації можна за допомогою моніторингу та діагностики резервуару.

Система технічного діагностування включає в себе два рівня проведення робіт:

- часткове технічне обстеження резервуара з зовнішньої сторони без виведення його з експлуатації;
- повне технічне обстеження, яке потребує виведення резервуара з експлуатації, його спорожнення, зачистки і дегазації [34].

Технічне діагностування резервуарів проводиться за типовою програмою. Обсяг повного або часткового діагностування може бути збільшений індивідуально, за рахунок проведення обстеження за додатковою програмою, в залежності від технічного стану, терміну та інтенсивності експлуатації резервуара, а також корозійної активності середовища [34]. За відсутності належного моніторингу резервуари зберігання нафтопродуктів і хімікатів, які містять велику кількість сильнодіючих речо-

вин, які легко випаровуються, можуть завдати величезної шкоди навколишньому середовищу [35].

Особливо, данні дослідження актуальні для умов Антарктиди, де екологічна ситуація контролюється багатьма міжнародними договорами [52].

На початку 2007 року на станції Академік Вернадський було встановлено та запущено в експлуатацію новий паливний бак циліндричної форми. Резервуар об'ємом  $200\text{ м}^3$  запроектований двохстінним, з двома днищами і дахами з урахуванням нових напрямків у будівництві резервуарів з метою підвищення їх експлуатаційної і аварійної безпеки. Проте через ризик виникнення надзвичайних ситуацій, існує ймовірність витоку палива з резервуара або трубопроводів, що, у залежності від масштабів, може призвести до погіршення екологічного стану поблизу станції або екологічної катастрофи. Тому забезпечення безпечної експлуатації резервуара з паливом на українській антарктичній станції Академік Вернадський є важливою проблемою України в її діяльності в Антарктиці [53]

## **2.1 Загальна характеристика резервуарів**

Резервуар вертикальний сталевий - це вертикальна ємність, наземна об'ємна будівельна споруда, призначена для прийому, зберігання, підготовки, обліку і видачі рідких продуктів, таких як нафтопродукти і води, а також інших рідин, у різних кліматичних умовах [54].

Вертикальні сталеві резервуари виготовляють внутрішнім об'ємом 100 - 120 000  $\text{м}^3$  [12], які використовуються при видобутку, транспортуванні, переробці і зберіганні нафти і нафтопродуктів. При необхідності їх об'єднують в групу резервуарів, зосереджених в одному місці, - «резервуарний парк» .

РВС призначені для наступних умов експлуатації [54], [55]:

- прийом, зберігання, видача та облік (кількісний і якісний) нафтовмісних стоків, нафти і нафтопродуктів;
- зберігання і відстій пластової води і механічних домішок;

- зберігання пожежної або питної води;
- зберігання рідких харчових (за умови забезпечення санітарно-гігієнічних норм), агресивних хімічних продуктів, мінеральних добрив;
- змішання нафти і нафтопродуктів;
- інші технологічні процеси видобутку, транспорту і зберігання.

Види РВС [56]:

- Циліндричні. Циліндричні сталеві резервуари є найпопулярнішими конструктивними рішеннями, використовуваними для зберігання нафтопродуктів, води та інших рідин. Циліндричні ємності представляють собою металеві конструкції циліндричної форми в вертикальному або горизонтальному виконанні, виконані з високоміцної зносостійкої сталі [56]. Оскільки саме циліндр визнано ергономічною і надійною формою ємності для зберігання будь-яких рідин, циліндричні резервуари знаходять застосування на підприємствах паливно-енергетичного комплексу, на підприємствах легкої, харчової промисловості і використовуються в якості сховищ для палива, запасу питної або технічної води, у тому числі як протипожежні ємності [55].

- Ізотермічні. Ізотермічні резервуари використовуються для зберігання зріджених вуглеводневих газів, аміаку, етилену, пропілену та інших при температурі кипіння газу нижче  $0^{\circ}\text{C}$  і постійному надмірному тиску близькому до атмосферного (не більше 0,12 МПа). Ізотермічні ємності зріджених вуглеводневих газів виготовляються об'ємом від  $700\text{ м}^3$  і більше.

- Ізотермічний спосіб зберігання зріджених газів зручний як для зберігання, так і для автомобільного і залізничного транспортування газів: обсяг газу при зріджуванні зменшується до 1500 разів [57]. Особливості конструкції: для зведення ізотермічних резервуарів використовується сталь різних видів; при проектуванні резервуарів з температурою зберігання продукту не нижче  $65^{\circ}\text{C}$  використовуються будівельні сталі, при більш низьких температурах застосовується спеціальна сталь (нержавіюча або нікельовмісна). Сьогодні найбільш поширені ізотермічні резервуари двошарової конструкції. Вони мають зазори між дахами, стінами



та днищами. Прикладом резервуара такого типу може слугувати ізотермічне сховище рідкого аміаку, яке є спорудою з двома резервуарами - зовнішнім і внутрішнім, призначеним для зберігання рідкого аміаку. У міжстінному просторі є теплоізоляція з перлітового піску. Сюди подається інертний газ для осушування теплової ізоляції при експлуатації системи; теплоізоляція днища виконується за допомогою перлітобетонних блоків, стики яких заповнюються перлітовим піском. Від різних пошкоджень і проникнення вологи теплоізоляція захищена зовнішнім резервуаром [58].

- Баки-акумулятори. Баки-акумулятори призначені для компенсації піків витрати води в системах тепlopостачання, а також для накопичення гарячої води вночі, що нагрівається в період пільгового тарифу на електроенергії, з подальшою витратою вдень. Сталевий бак-акумулятор для гарячої води складається з металевого корпусу (резервуару) горизонтального або вертикального виконання, з опорами або без них [59].

Для вертикальних резервуарів передбачені спеціальні металеві конструкції захисту від лавиноподібного руйнування резервуара на випадок аварії. Для зменшення витрат тепла корпус підлягає обов'язковій теплоізоляції. Товщина теплоізоляції та її матеріал визначаються на стадії проектування і залежать від кліматичних характеристик району, де він буде встановлений .

Виробництво резервуарів здійснюється в заводських умовах з подальшим монтажем їх на майданчику замовника.

Класифікацію резервуарів можна провести за наступними ознаками: За методами виготовлення і монтажу листових металоконструкцій [54], [60], [61] :

- у рулонному виконанні - резервуари рулонної збірки, для яких листові конструкції стінки, днища, понтона і дахів (стаціонарного, плаваючого) виготовляються і монтуються у вигляді рулонних полотнищ;

- полистовому виконанні - резервуари полистового складання, виготовлення і монтаж усіх листових конструкцій яких ведеться з окремих листів;

- комбінованому виконанні - резервуари комбінованої збірки, стінки яких виготовляються і монтуються з окремих листів, а листові конструкції днища, стаціонарного даху, плаваючого даху або понтона (всі або деякі з них) - у вигляді рулонних полотнищ.

За призначенням виділюють наступні РВС [62]:

- сировинні резервуари - для зберігання сирової нафти;
- технологічні резервуари - для скидання пластової води, відстою і підризування нафти;
- товарні РВС - для зберігання товарної нафти (збездодненої і знесоленої).

За способом виготовлення поясів:

- зварюються поступово;
- зварюються встик;
- виготовляються телескопічно

За класом небезпеки РВС поділяються на [62] :

- клас I - резервуари об'ємом більше  $50\,000\text{ м}^3$ ;
- клас II - резервуари об'ємом  $20\,000\text{ м}^3$  -  $50\,000\text{ м}^3$  включно, також резервуари об'ємом  $10\,000\text{ м}^3$  -  $50\,000\text{ м}^3$  включно, розташовані безпосередньо на берегах річок, великих водойм і в межах міської забудови;
- клас III - резервуари об'ємом  $1\,000\text{ м}^3$  -  $20\,000\text{ м}^3$ ;
- клас IV - резервуари об'ємом менше  $1\,000\text{ м}^3$ .

Клас небезпеки враховується при призначенні:

- спеціальних вимог до матеріалів, методів виготовлення, обсягами контролю якості;
- коефіцієнтів надійності по відповідальності.

Типи резервуарів за конструктивними особливостями поділяють на [62]:

- резервуар зі стаціонарним дахом з понтоном;
- без понтона;
- резервуар з плаваючим дахом.

Плаваючий дах - це плаваюче покриття, що знаходиться всередині резервуара на поверхні рідини, призначене для зменшення втрат продуктів від випаровування [64], поліпшення екологічної та пожежної безпеки при зберіганні.

## **2.2 Технічні параметри резервуарів**

Основними технічними параметрами РВС є [64]:

- рівень відповідальності споруди;
- клас небезпеки резервуара - ступінь небезпеки, що виникає при досягненні граничного стану резервуара, для здоров'я і життя громадян, майна фізичних або юридичних осіб, екологічної безпеки навколишнього середовища;
- загальний термін служби резервуара - призначений термін безпечної експлуатації, протягом якого резервуар не досягне граничного стану з імовірністю  $\gamma$  при виконанні необхідного регламенту обслуговування і ремонтів;
- розрахунковий термін служби резервуара - термін безпечної експлуатації до чергового діагностування або ремонту, протягом якого резервуар не досягне граничного стану.

Згідно [64], резервуари для зберігання нафти і нафтопродуктів відносяться до І (підвищеного) рівню відповідальності.

Надійність резервуара - властивість його конструкції виконувати призначення прийому, зберігання і відбору з нього продуктів при заданих технічною документацією на резервуар параметрах; критерії надійності: працездатність, безвідмовність роботи, довговічність резервуарів і його елементів, ремонтпридатність елементів резервуарів [63].

Основні параметри, що забезпечують надійність РВС [62]:

- характеристики перерізів основних несучих та огорожуючих конструкцій, властивості сталі;
- якість зварних з'єднань;
- допуски при виготовленні і монтажі елементів конструкцій.

Працездатність резервуара - стан, при якому резервуар здатний виконувати своє призначення за заданим (поставленим) проектом технологічним режимом без відхилень від параметрів, встановлених технічною документацією, виконаною відповідно до норм.

Безвідмовність роботи резервуара - властивість резервуара і його елементів зберігати працездатність без вимушених перерв в роботі. Довговічність резервуара і його елементів - властивість конструкції зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами для технічного обслуговування і ремонтів. Ремонтопридатність елементів резервуара - пристосованість елементів до попередження і виявлення несправності, а також їх ремонту в період обслуговування до настання відмови [54].

### **2.3 Основні конструктивні особливості**

В якості об'єкта контролю розглянуто резервуар вертикальний сталевий (РВС), що установлений на українській антарктичній станції Академік Вернадський, який уособлює як найбільш жорсткі вимоги до забезпечення безпечної експлуатації РВС, так і найбільш несприятливі (критичні) умови експлуатації та можливості моніторингу його технічного стану[66].



шовані поперек фундаменту та з'єднані між собою сталевими пластинами. Зверху приварено дно зовнішнього резервуара [65].

### 2.3.2 Геометрія зварного шва стінки резервуара

Зварний шов має вид стикового з'єднання. Стиковим з'єднанням називається зварене з'єднання двох елементів, що примикають один до одного торцевими поверхнями і розміщених на одній поверхні або в одній площині.

## 2.4 Розробка геометричних моделей об'єкт

Геометричне моделювання резервуара відбувається за допомогою CAD-систем. Оскільки на сьогоднішній день їх існує досить багато, для моделювання було обрано програмний продукт CATIA компанії Dassault Systems.

Універсальна система автоматизованого проектування (САПР, CAD - Computer-Aided Design) високого рівня Dassault Systemes CATIA охоплює всі без винятку дисципліни проектування, включаючи: проектування великих складальних одиниць, твердотільних, листових, каркасних і гібридних деталей з урахуванням особливостей їх виробництва [66].

### 2.4.1 Створення ескізу моделі резервуару

У CATIA створення будь-якої моделі починається зі створення ескізів (Sketcher) цієї моделі. В однойменному модулі є набір засобів для створення, редагування та встановлення обмежень для елементів ескізу, таких як криві і профілі. Також в модулі «Створення ескізів» (Sketcher) можна працювати з 3D елементами, наприклад, додаючи 2D геометрію до існуючої деталі або редагуючи її [67].

Для створення ескізу необхідно скористатися меню **Start**. Треба натиснути **Start > Mechanical Design > Part design** в рядку меню (рис. 2.2)

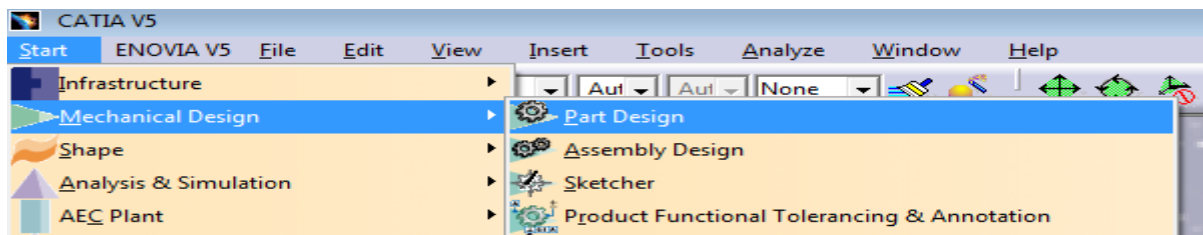


Рисунок 2.2 - Створення нової геометрії за допомогою команди **Start (Пуск)**

У спливаючому вікні New Part (Нова деталь) обирається назва майбутньої деталі (рис.2.3).

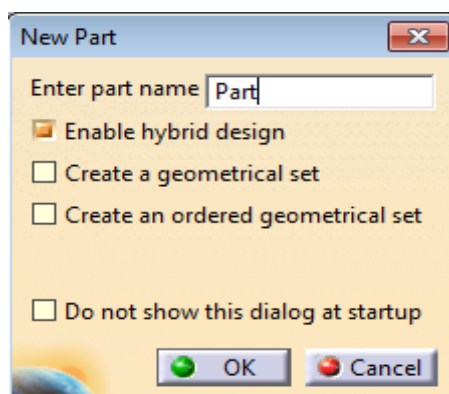
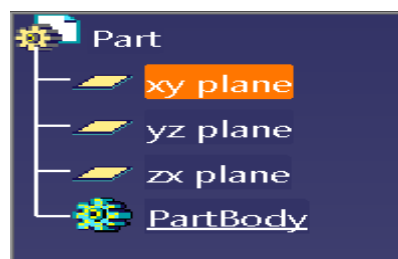


Рисунок 2.3 - Назва геометрії деталі.

В області геометрії необхідно обрати опорну площину (рис.2.4, а) або це ж саме можна зробити через дерево моделі (рис. 2.4, б).



( а )



( б )

Рисунок 2.4 - Вибір опорної площини через область геометрії (а) та дерева моделі (б)

Після вибіру опорної площини треба натиснути  **Sketch** (ескіз)

## 2.4.2 Використання панелей інструментів при створенні ескізів.

Панелі інструментів при створенні ескізів дозволяють:

Створити попередньо визначні профілі **Profile** (Профіль) (рис. 2.5).



Рисунок 2.5 - Панель інструментів **Profile** (Профіль)

Встановлювати обмеження **Constraint** (рис. 2.6).



Рисунок 2.6 - Панель інструментів **Constraint** (Обмеження)

Виконувати операції над профілями **Operation** (Операція) (рис.2.7).



Рисунок 2.7 - Панель інструментів **Operation** (Операція)


Виконувати операції з 2D та 3D геометриями **Tools** (Сервіс) (рис.2.8).



Рисунок 2.8 - Панель інструментів **Tools** (Сервіс)

### 2.4.3 Побудова геометричної моделі внутрішнього резервуара

За допомогою панелі інструментів **Profile**, а саме  **Geometry** (Геометрія) -

>  **Circle** (Коло) можна створити ескіз стінки резервуара (рис.2.9).



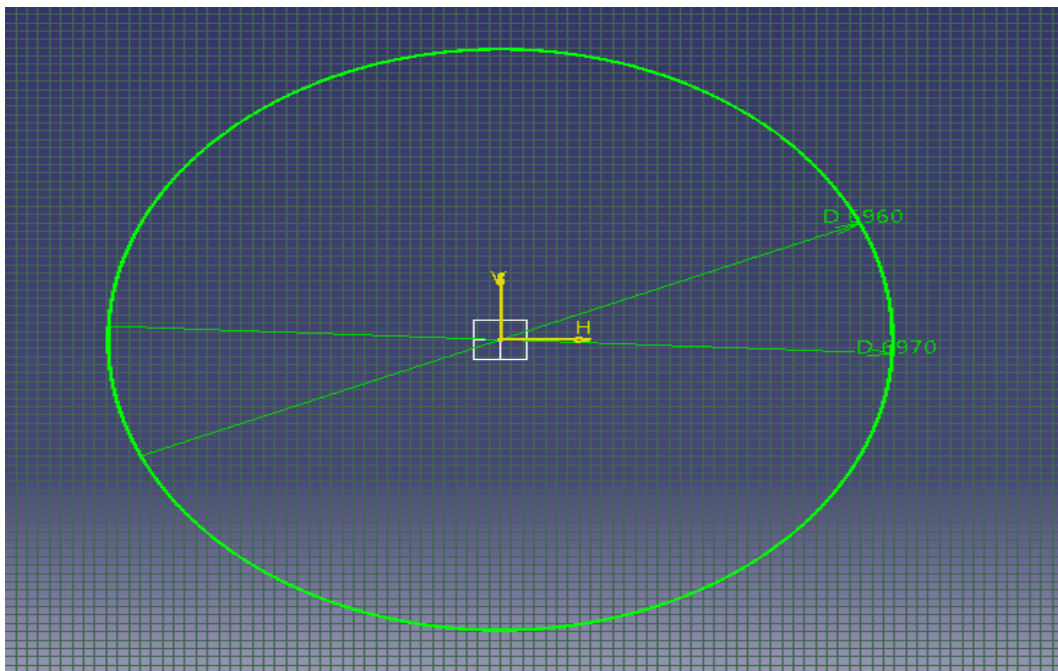




Рисунок 2.9 – Ескіз стінки резервуара

Для побудови тривимірної геометричної моделі необхідно вийти з модуля побудови ескізів (**Exit Workbench**), натиснувши на піктограму  на панелі інструментів

**Workbench**



Для побудови тривимірної геометричної моделі необхідно натиснути на створений контур та вибрати **Pad** , у виниклому діалоговому вікні, як показано на рис.2.10. **Визначення Pad Definition**, задається висота геометричної моделі.

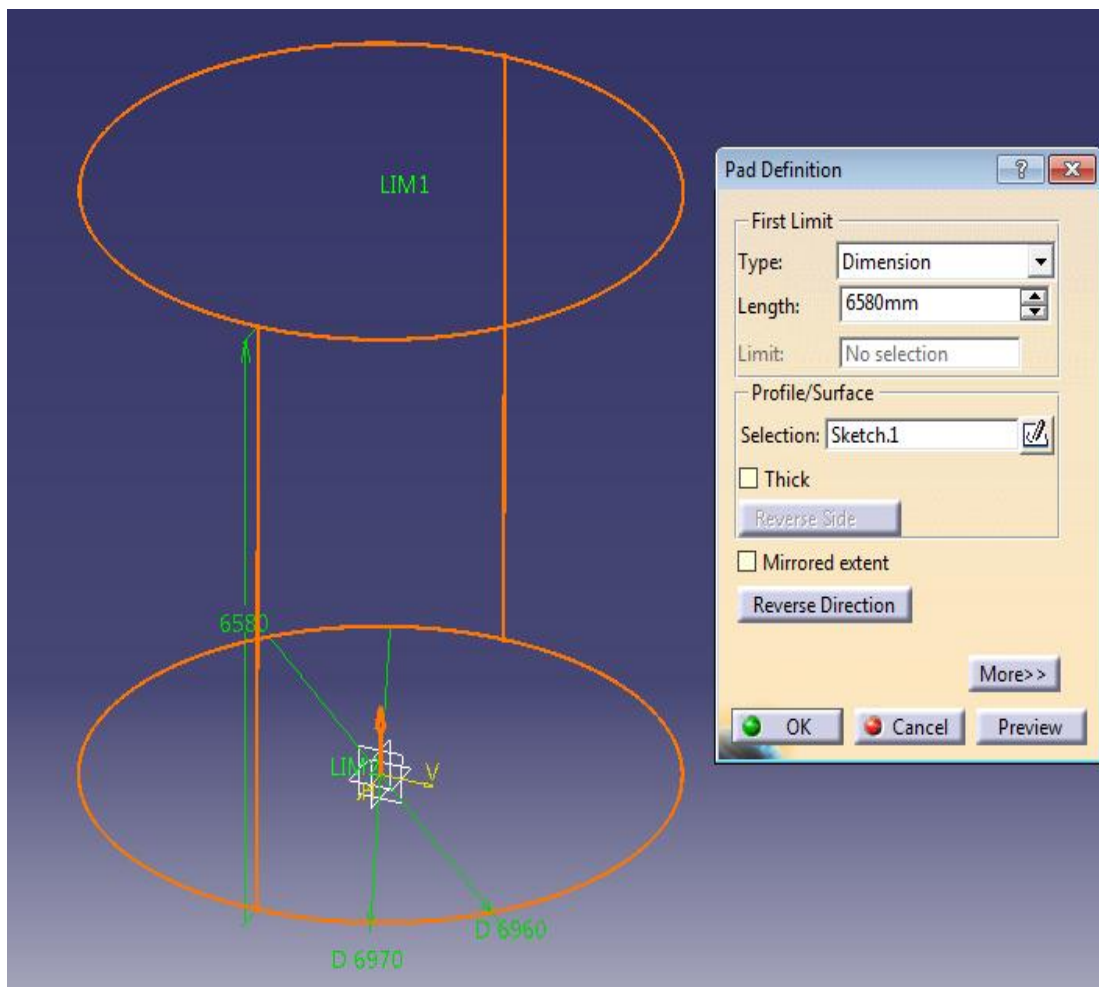


Рисунок 2.10 - Попередній вигляд резервуару

Створення витягнутої геометрії означає екструдування профілю або поверхні в одному або двох напрямках. Програма дозволяє вибрати межі створення, а також напрям екструзії, як створити основну панель за допомогою закритого профілю, параметрів розміру та дзеркальної межі [68].

#### 2.4.4 Створення шву


Геометрична модель зварного шва має форму ламаної лінії, шириною 16 мм, уздовж стінок резервуару. Та 8 мм на верхній грані резервуару.

Дане креслення (рис.2.1) було спрощено, а саме :

1. Зв'язок між зовнішнім та внутрішнім резервуаром відсутній, тобто навантаження на зовнішній резервуар не впливають на внутрішній.




Рисунок 2.11 - Ескіз шва за даними параметрами

За допомогою панелі інструментів  **Constraint (Обмеження)** були визначені необхідні розміри геометричної моделі. Та створене спеціальне обмеження.

Контур майбутнього шва готовий, залишилось його зробити об'ємним.

Для цього був зроблений вихід з модуля **(Exit Workbench)**  на панелі ін-

струментів **Модуль (Workbench)** .

Далі було натиснено на створений контур та обрано **Pad** , зв'явилося діалогове вікно, як показано на рис.2.12. **Pad Definition**. На рис.2.12 зображено попередній вигляд шва в області геометрії.

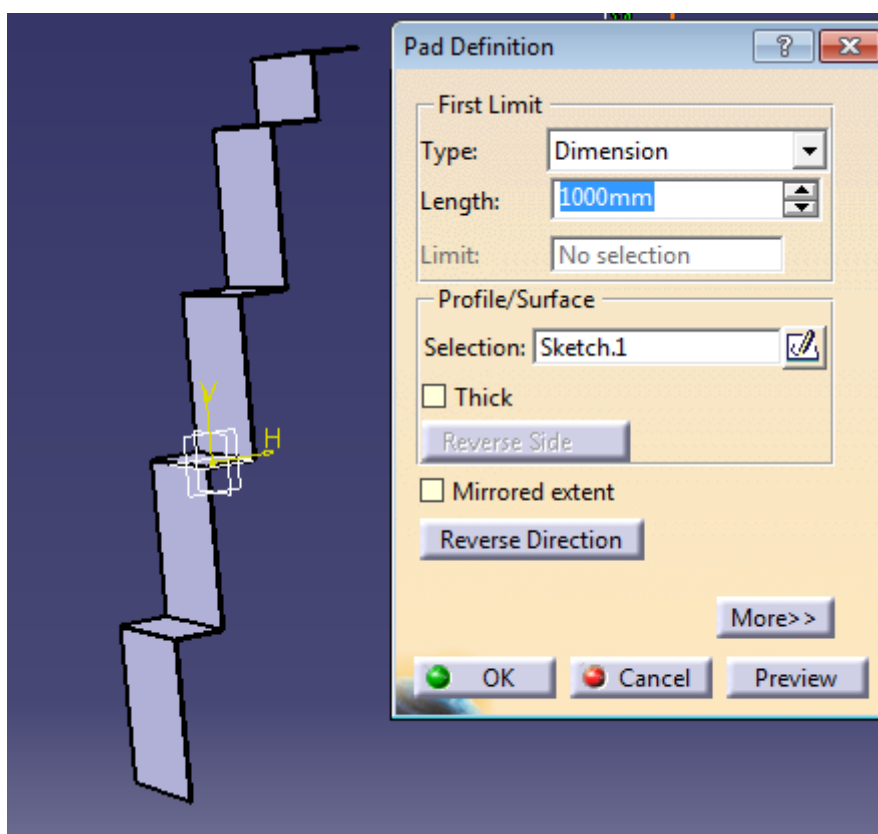



Рисунок 2.12 - Об'ємний геометричний шов

Для повної відповідності зварного геометричного шва до циліндра було створено округлення з діаметром зовнішнього та внутрішнього кола.

На верхній частині геометричної моделі шва було побудовано додатковий ескіз **Sketch**.

За допомогою панелі інструментів  **Circle** (Коло) ,створено два кола більшими на 3 мм в діаметрі ніж, створений резервуар (рис.2.13).

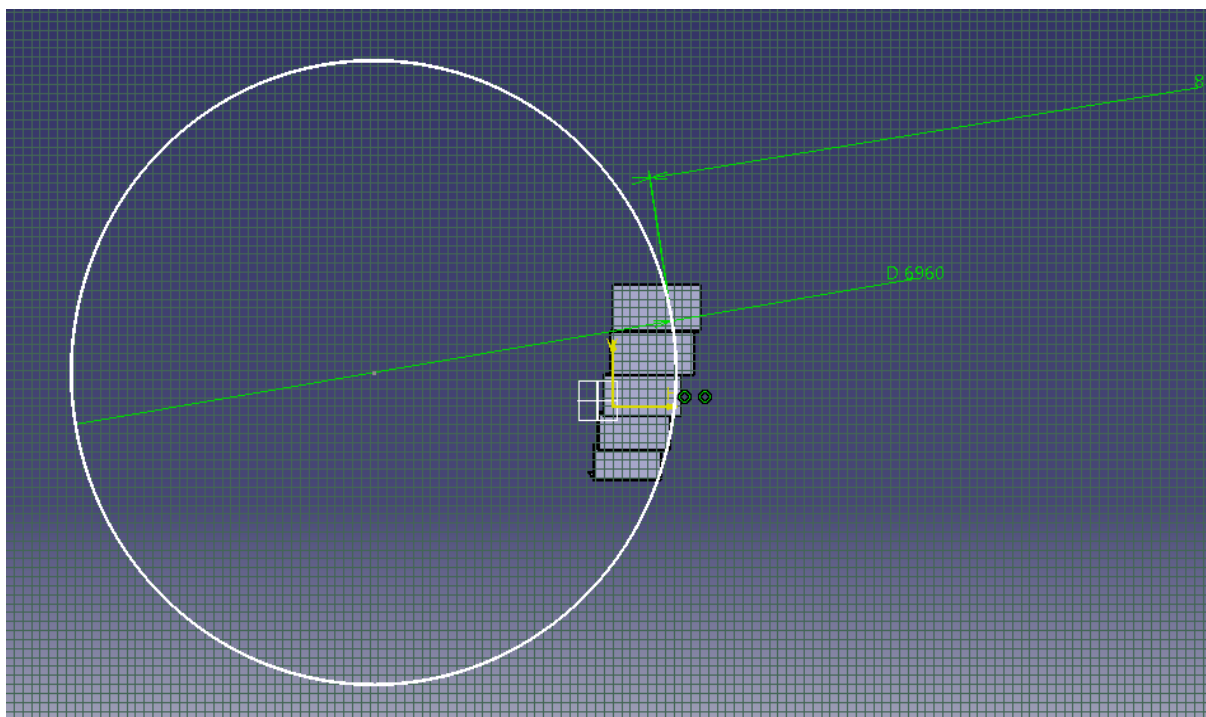



Рисунок 2.13 - Створення з округлення з відповідним діаметром та шириною шва

За допомогою  **Pocket** (кишеня) було створено заокруглений по необхідному радіусу зварний шов.

Створення кишені полягає в екструзії профілю або поверхні та видалення матеріалу, що виникає в результаті екструзії. Програма дозволяє вибрати межі створення, а також напрям екструзії. [69].

При натисканні **Pocket** відображається діалогове вікно **Pocket Definition**, а програма попередньо переглядає кишеню

Можна визначити певну глибину для створюваної кишені або встановити один із цих параметрів[69]:

- up to next (до наступного);
- up to last (до останнього);
- up to plane (до літака);
- up to surface (до поверхні);

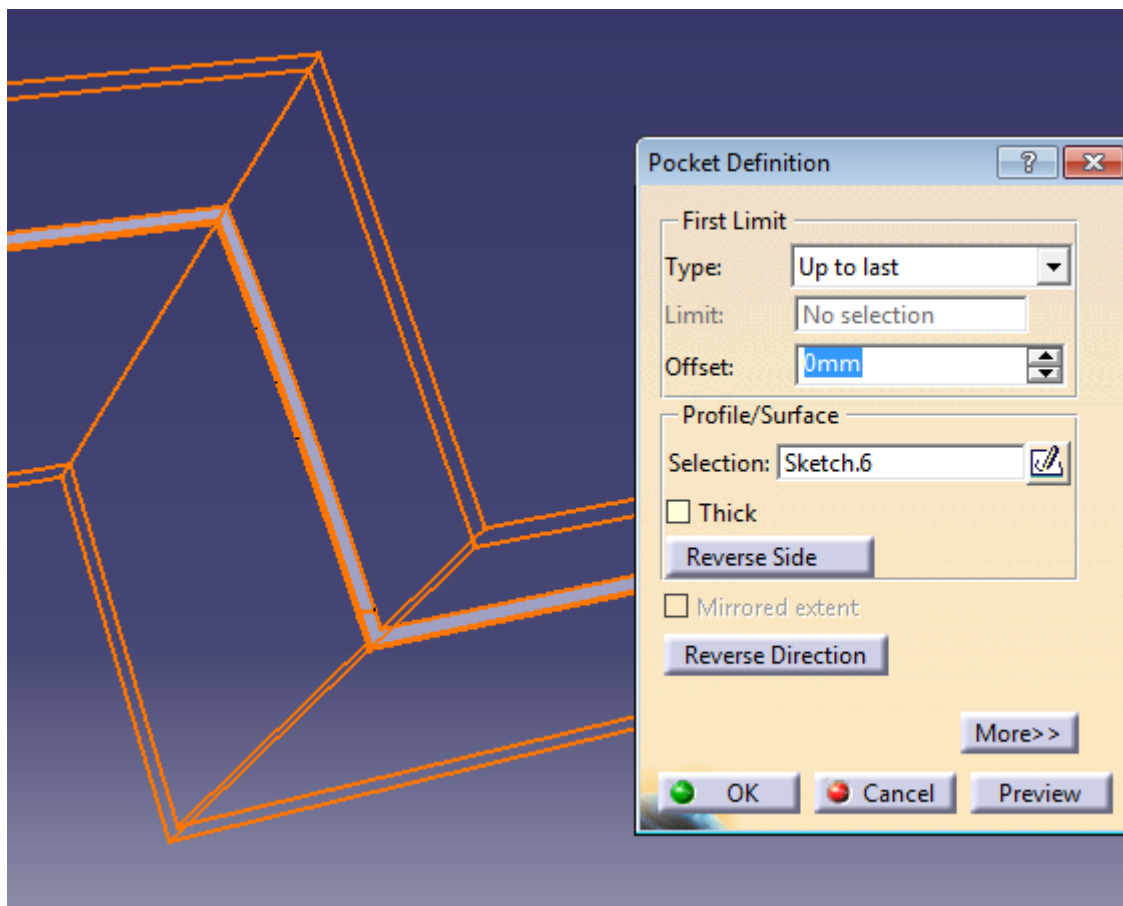



Рисунок 2.14 - Готовий з округлений зварний шов.

#### 2.4.5 Об'єднання двох простих геометричних елементів

Для створення суцільної моделі, що складається з двох елементів створимо окрему складальну одиницю.

Для створення нового ескізу необхідно натиснути  **New** (новий) на панелі інструментів, у відображеному вікні **New** (рис.2.15) обирається розділ **Product** (складальна одиниця), та натискається **OK**.

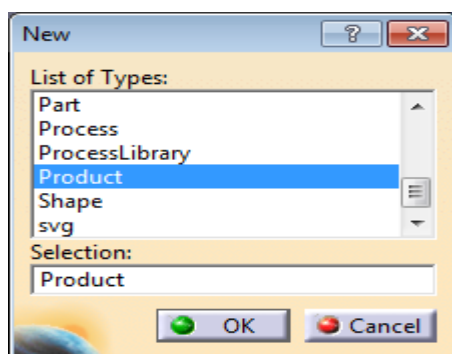




Рисунок 2.15 - Створення складальної одиниці


У новому файлі **Product** (складальна одиниця) обирається  **Existing component** (існуючий компонент) та додається створення простих геометричних деталей складальній одиниці.

**Existing component** - показує, як імпортувати один або декілька компонентів в існуючу складальну одиницю [70].

Далі за допомогою панелі інструментів **Assembly Features** (Особливості складальної одиниці рис.2.16.) віднімаємо одну деталь від іншої.

Рисунок 2.16 - Панель інструментів складальної одиниці **Assembly Features**

За допомогою панелі інструментів  **Constraint (Обмеження)**, а саме **Coincidence** (Збіг) було об'єднано та виставлено як тотожні елементи деталі PVC та зварного шва.

Далі, за допомогою панелі інструментів **Assembly Features** (рис.2.16), а саме  **Remove** (Видалити) циліндр разом зі зварним швом стали, як цільна деталь (рис.2.17)

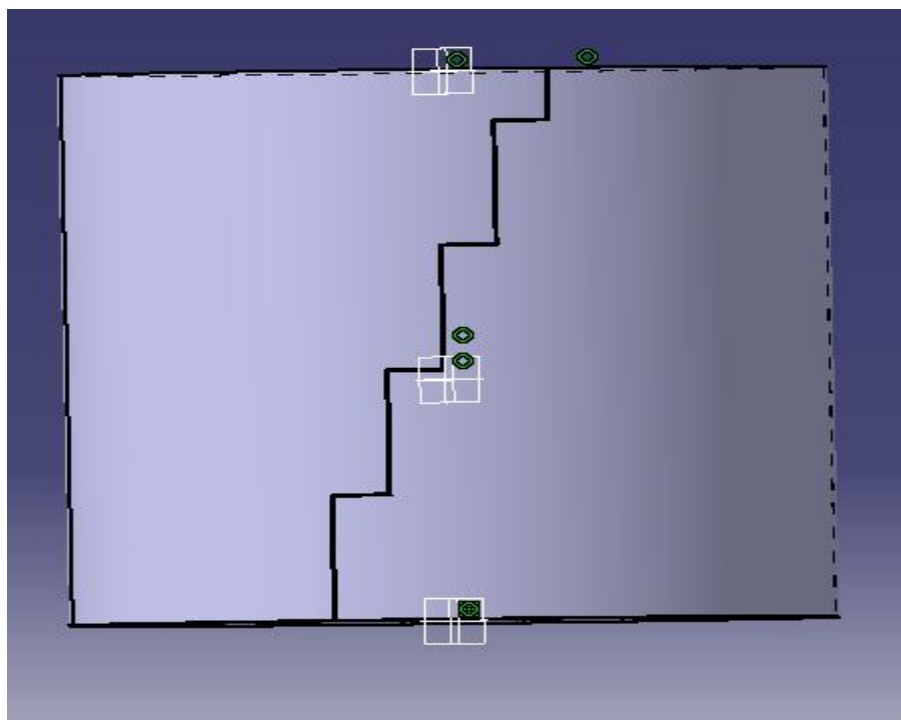


Рисунок 2.17 - Просторова модель резервуару зі швом, як цільна деталь

### 2.4.6 Створення дна резервуару

За допомогою додаткового ескізу **Sketch** та панелі інструментів **Profile**, а саме



**Geometry** (Геометрія) ->



**Circle** (Коло) треба створити коло діаметром

внутрішньої стінки резервуару 6970мм.

Необхідно натиснуто на створений контур та вибрати **Pad**



щоб витягну-

ти дно резервуару на 8 мм( рис.2.18)

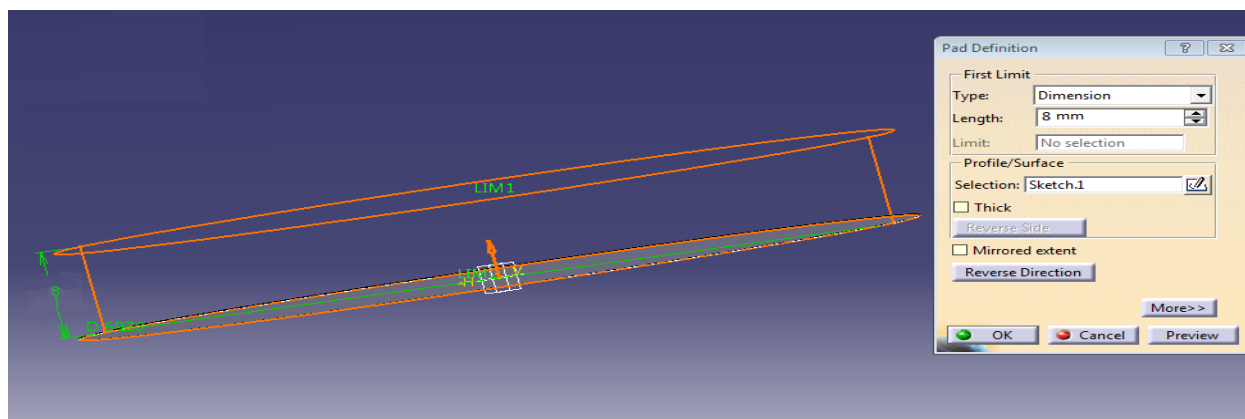


Рисунок 2.18 - Створення геометричної просторової моделі дна резервуару.

Як і раніше, деталь була експортована у загальну складальну одиницю. За до-

помогою панелі інструментів **Assembly Features**, а саме функції



**Add** з'єднано

нижню грань резервуару та дно ( рис.2.19) .



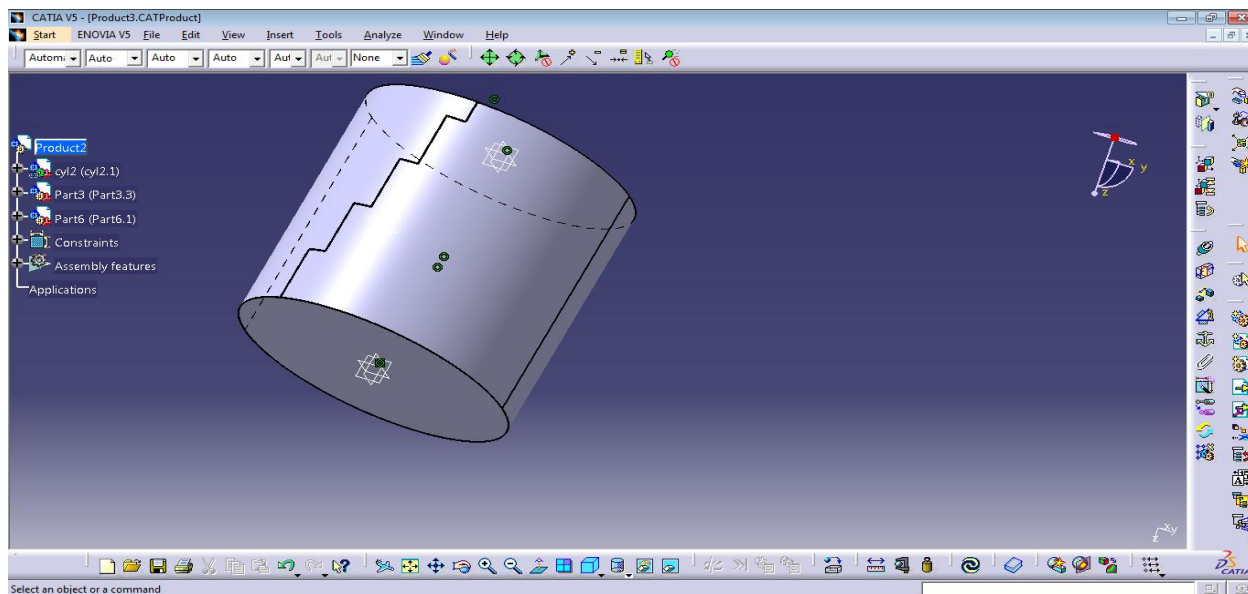


Рисунок 2.19 - Загальний вигляд просторової моделі резервуару з одностороннім зварним швом.

#### 2.4.7 Побудова резервуару з іншим зварним швом

Аналогічним чином було виконано креслення просторової моделі з іншим швом.

Використані команди:

1. Start > Mechanical Design > Part design
2. Profile > Geometry > Circle > Constraint
3. Exit Workbench > Pad(рис.2.20)



Рисунок 2.21 – Ескіз зварного шва

3. Exit Workbench > Pad

4. Sketch > Geometry > Circle > Constraint (рис.2.22)

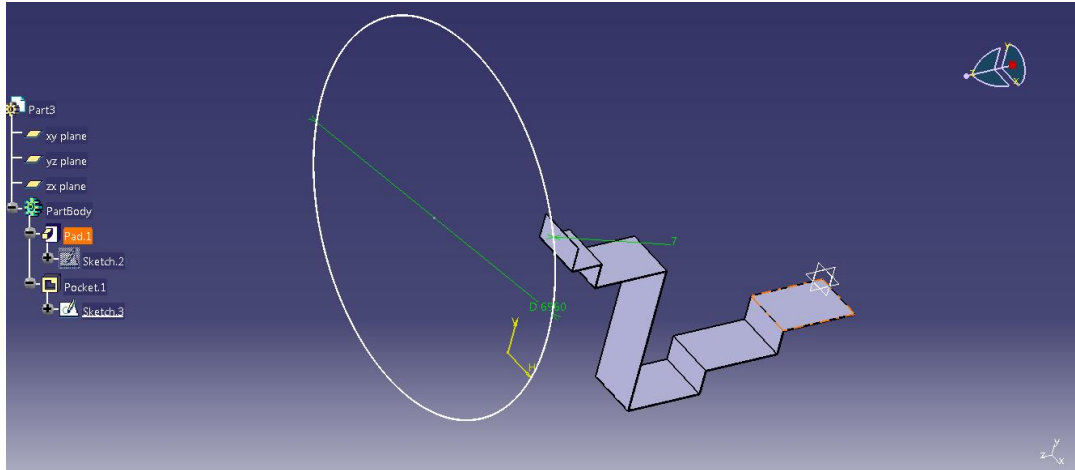


Рисунок 2.22 - Створення заокруглення з відповідним діаметром та шириною зварного шва

5. Exit Workbench > Pocket > up to last (рис.2.23)

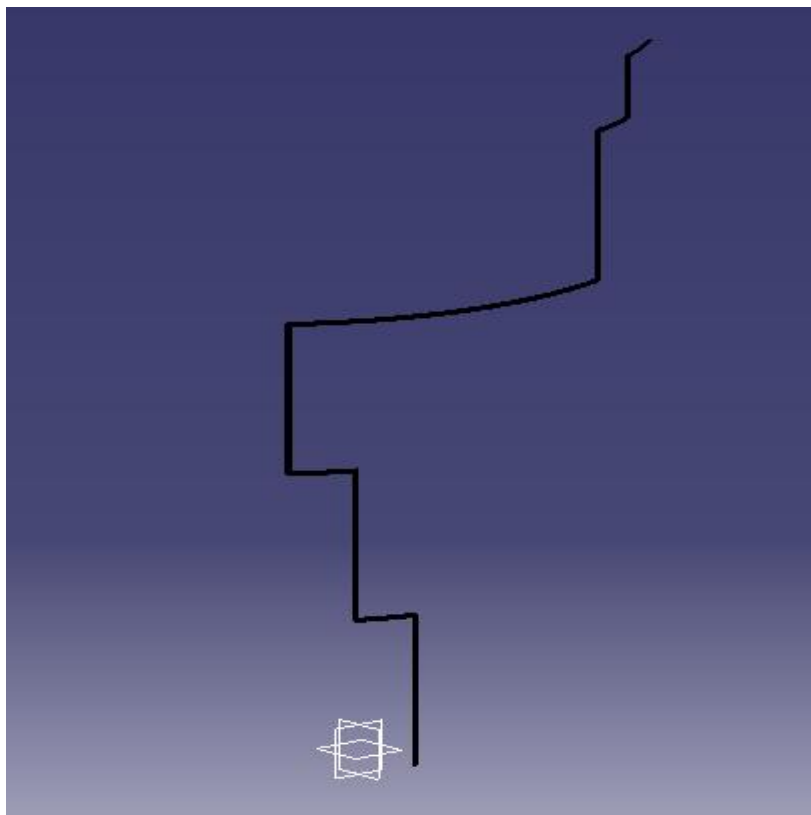


Рисунок 2.23 – Геометрична модель зварного шва

### Конструювання дна циліндра

1. Start > Mechanical Design > Part design
2. Profile > Geometry > Circle > Constraint
3. Exit Workbench > Pad

### Створення одноцільної збірки комплектуючих:

1. New > Product > OK.
2. Existing component > Constraint > Coincidence
3. Assembly Features > Remove
4. Assembly Features > Add (рис.2.24)

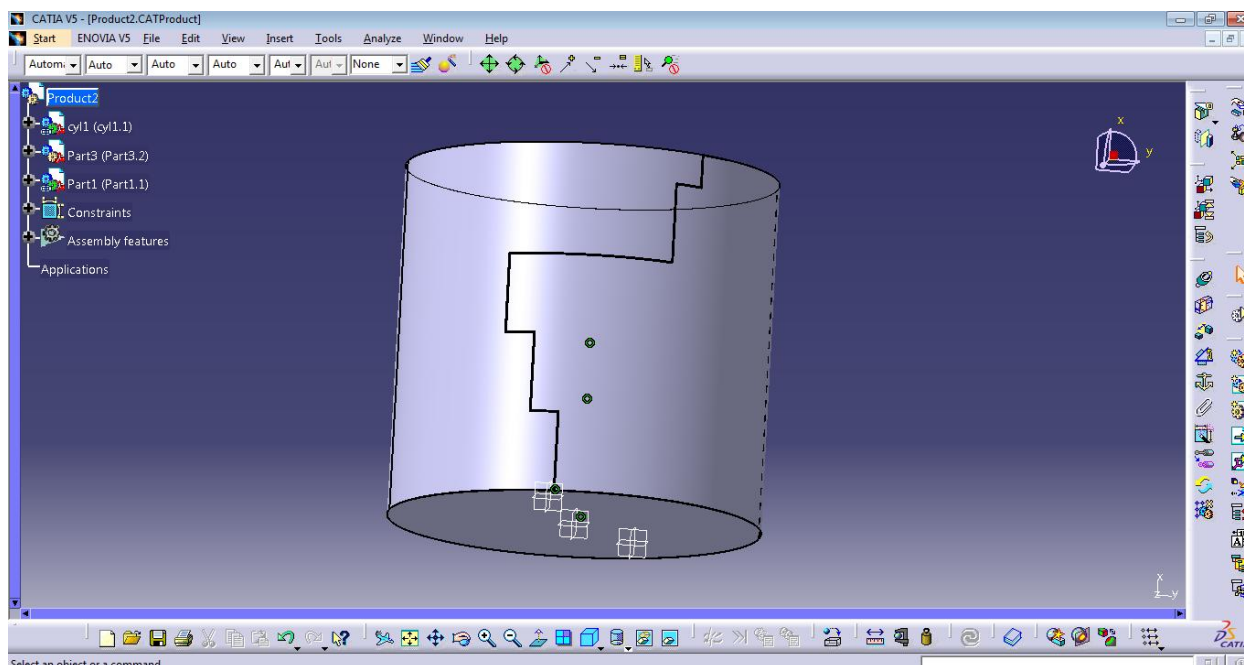


Рисунок 2.24 - Загальний вигляд просторової моделі резервуару зі зварним швом.

## ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

Одним з найрозповсюдженіших об'єктів для зберігання екологічно-небезпечних речовин є вертикальний сталевий зварний резервуар циліндричної форми. Саме тому один з таких об'єктів був розглянутий у другому розділі та отримано наступні результати:

1. Наведено загальну характеристику вертикальних сталевих резервуарів для зберігання екологічно-небезпечних речовин та вказано основні особливості обраного у якості об'єкта контролю резервуара.
2. Створено спрощені геометричні моделі вертикального сталевого зварного резервуара, встановленого на антарктичній станції Академік Вернадський.
3. Створено дві різні геометрії зварних швів для дослідження процесів розвитку багатоосередкового пошкодження.

## РОЗДІЛ 3

### Моделювання напружено-деформованого стану об'єкта

Усі види фізичного зносу призводять до поступової втрати об'єктом своєї споживчої цінності. Це, як правило, спричиняє появу наступних негативних наслідків:

- погіршуються окремі споживчі та експлуатаційні характеристики об'єкта;
- збільшується частота його ремонтів;
- з'являється ризик аварійних ситуацій.

Причиною зносу об'єктів може стати будівельний дефект, перенапруга конструктивних елементів, перевантаження, температурні деформації, корозія та інші індивідуальні приводи.

Варто зазначити, що різні причини зносу можуть призвести до однакових наслідків, тому під час оцінки об'єкта на предмет виникнення проблем необхідно враховувати природу та істинні причини зносу. У даному розділі буде наведено методики побудови розрахункових моделей у середовищі ANSYS для проведення аналізу напружено-деформованого стану об'єкта.

#### 3.1 Огляд можливостей програмного комплексу ANSYS

ANSYS – це універсальний програмний комплекс скінчено-елементного аналізу, призначений для вирішення задач у різних областях інженерної діяльності: конструктивні, теплові, гідро газодинамічні, електромагнітні[71].

Для побудови розрахункової моделі можна використати ANSYS Workbench, який дає користувачу зручний графічний інтерфейс для спрощення та систематизації необхідних дій.

ANSYS Workbench – це концепція розрахунків багатодисциплінарних завдань в єдиній робочій платформі з підтримкою асоціативного зв'язку з CAD-системою.

Даний комплекс має модульну структуру, що дає нові можливості, як в процесорній підготовці, так і в вирішенні задач та обробці результатів.

Платформа ANSYS Workbench включає додаток Workbench Mechanical, що є універсальною оболонкою для різноманітних обчислювачів, в тому числі Mechanical APDL.

Робоча Область Керування Проектом, зазвичай, включає в себе три панелі:

- Toolbox (Панель інструментів) – це набір інструментів для вирішення багатодисциплінарних інженерних задач.
- Project Schematic (Схема проекту) – в даній частині панелі робочої області додаються елементи та шаблони з панелі інструментів, сама схема проекту.
- Properties of Schematic (Список властивостей) – відображається у вигляді таблиці: назва властивості/ характеристика.

### **3.1.1 Програмні модулі пакету ANSYS**

Панель Toolbox представляє всі доступні модулі та додатки, що були з'єднані в ANSYS Workbench, для вирішення задач інженерного аналізу.

Панель інструментів поділяється на чотири основні групи [72] :

- Analysis System;
- Component Systems;
- Custom Systems;
- Design Exploration.

Розділ Analysis System містить шаблони (модулі) рішення основних типів завдань. Шаблони включають в себе всі необхідні для вирішення компоненти - геометричну модель, фізико-технічні параметри, звичайно-елементну модель та ін. Для додавання завдання в проект досить перетягнути назву типу завдання в область Схеми проекту.

Розділ Component Systems об'єднує окремі компоненти для моделювання. так, можна створити окремо, не прив'язану геометричну модель, і на її основі створити

скінчено-елементну модель, яку використовувати в подальшому, як основу для моделювання.

Розділ Custom Systems служить тільки для спрощення та оптимізації. Для додавання в проект шаблонів з цього розділу, необхідно два рази натиснути лівою кнопкою мишки на назві шаблону.

Розділ Design Exploration дозволяє вирішувати задачі оптимізації моделі різними методами .

### **3.1.2 Огляд модулів групи Analysis System програмного пакету ANSYS**

Основні модулі розділу Analysis Sys включають [73]:

- Explicit Dynamics - модулі, засновані на явних вирішеннях для розрахунку задач динаміки конструкцій і моделювання швидкопротікаючих нелінійних процесів: високошвидкісних ударів, фрагментації, деформації, руйнування і т. д.

- Fluid Flow (CFX) призначений для вирішення завдань гідродинаміки, а також задач сполученого теплообміну. Дозволяє моделювати широкий спектр фізичних процесів в рідинах і газах, таких як нестационарність, турбулентність, багатокомпонентні і багатозфазні середовища, хімічні реакції, радіаційні випромінювання, акустичні хвилі і т. д.

- Static Structural (ANSYS) - статичний структурний аналіз. Дозволяє розрахувати переміщення, деформації, напруження, внутрішні зусилля, що виникають у тілі під дією статичного навантаження. параметри скінчено-елементної моделі і фізично-технічні дані задаються в додатку Mechanical.

### **3.2 Методика проведення імітаційного моделювання процесу руйнування**

Побудова спрощеної моделі необхідна для визначення можливості моделювання процесу руйнування. На відміну від реальних об'єктів, спрощені моделі не мають складних конструктивних особливостей, мають простий геометричний характер, що в свою чергу дає змогу значно швидше виконати процес моделювання за допомогою програмного комплексу ANSYS.



В якості спрощеної моделі було обрано сталеву пластину шириною 30 мм, довжиною 50 мм та глибиною 10 мм. За допомогою програмного продукту CATIA V5 , було створено геометричну модель пластини (рис. 3.1).

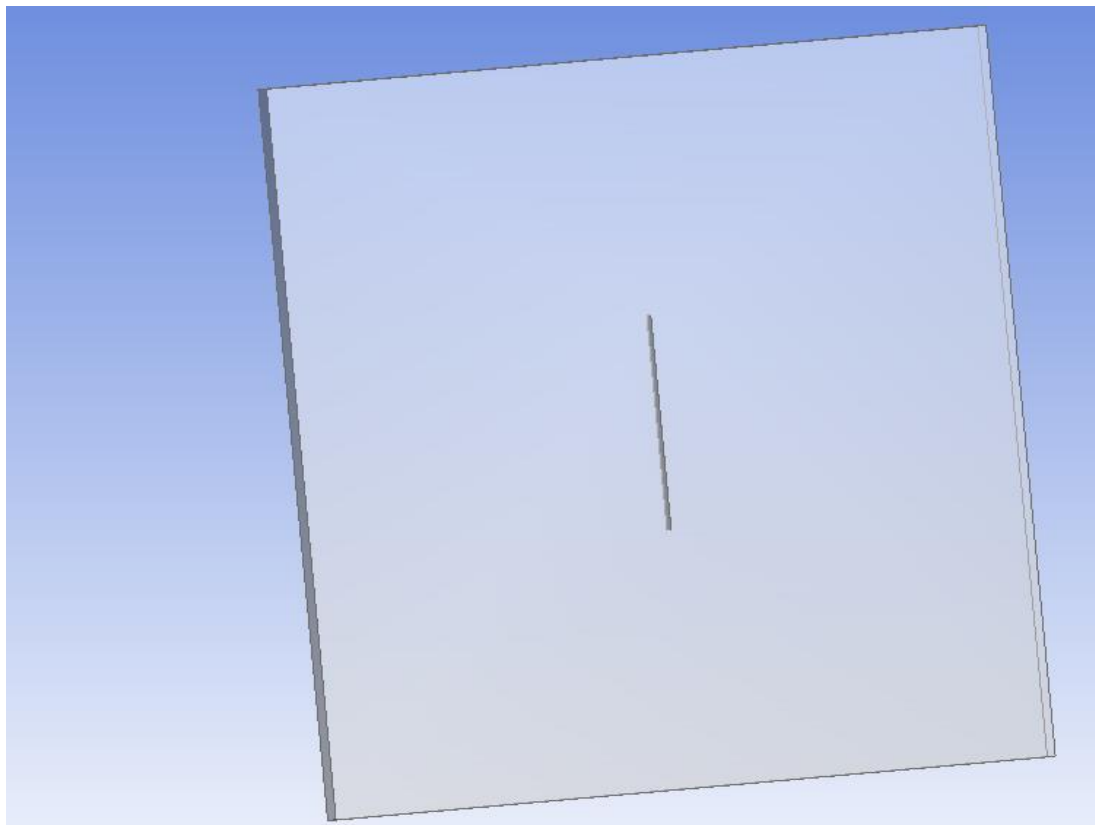


Рисунок 3.1 – Просторова модель сталевій пластини

### **3.2.1 Структурний аналіз сталевій платини**

За допомогою програмного комплексу ANSYS Workbench було виконано моделювання тріщини та розрахунок коефіцієнту інтенсивності напружень сталевій пластини.

Для даного розрахунку було використано модуль Static Structural (рис.3.2) – це статичний структурний аналіз.

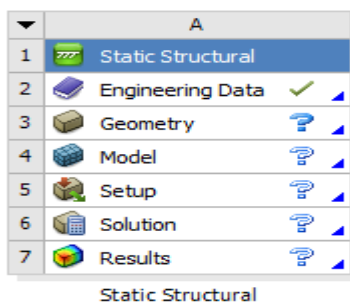


Рисунок 3.2- Модуль Static Structural

Програмний комплекс ANSYS має можливість підтримувати безліч CAE /CAD форматів, так як геометрична модель була побудована за допомогою програмного продукту CATIA V5, тому було доцільним імпортувати дану деталь в комірку Geometry.

За наявністю блоку «Engineering Data», який слугує для введення характеристик матеріалів конструкції, було визначено матеріал пластини (рис.3.3).

За допомогою компоненту Mech було створено напівеліптичну тріщину в імпортованій трьохмірній моделі сталеві пластини.

Для побудови було використано спеціальний інструмент Fracter, а саме об'єкт Crack (рис.3.4), вибраний в дереві моделі, який створює напівеліптичну тріщину в тримірній геометричній моделі.

У першу чергу, була створена координатна система, яка описує центр напівкола тріщини. Для цього обрана довільна поверхня сталеві платини, та в дереві моделі було обрано пункт створення нової координатної площини.

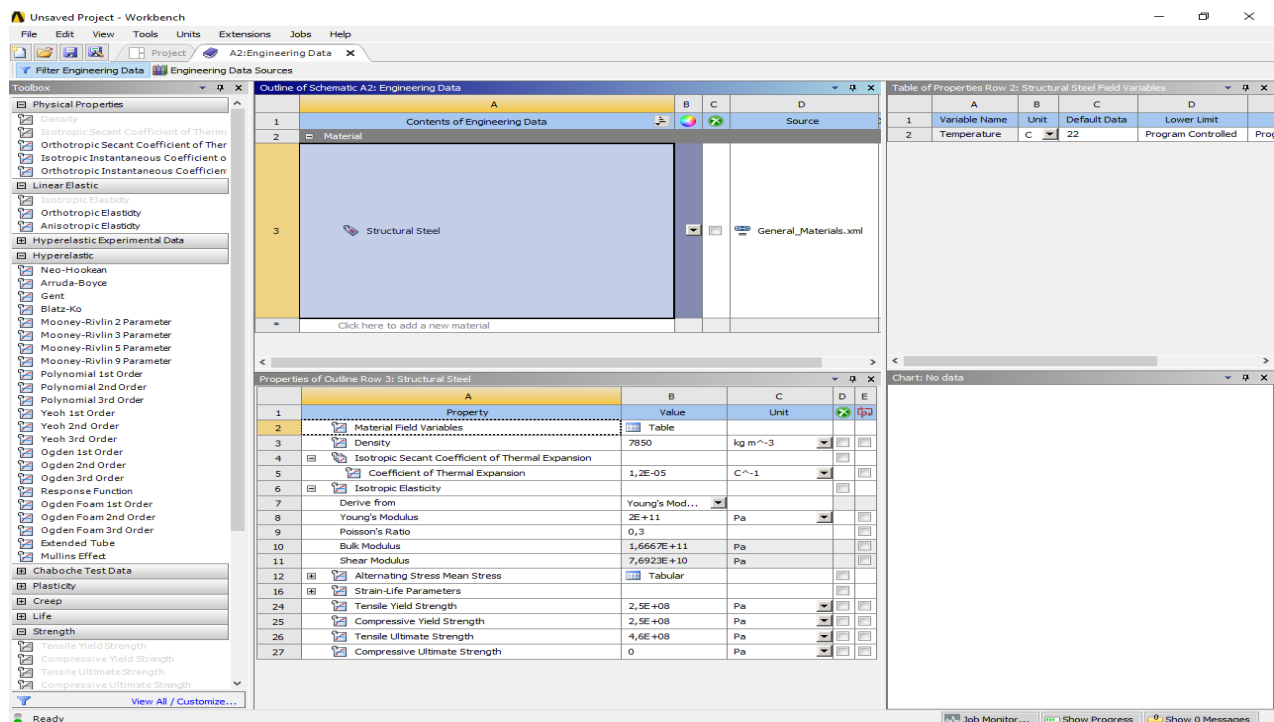


Рисунок 3.3 – Інтерфейс блоку «Engineering Data»,

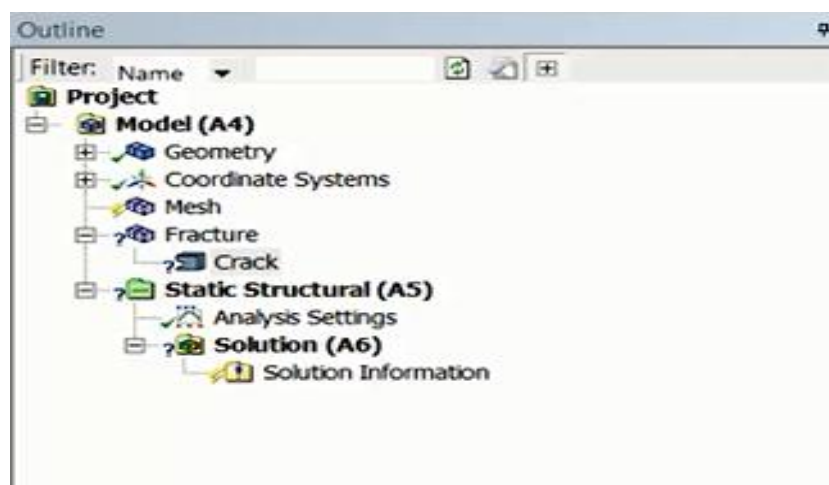


Рисунок 3.4- Компонент Fracture в дереві моделі модуля Static Structural.

Як видно, вісь X вказує напрямок тріщини, а вісь Y є перпендикуляром берегів тріщини (рис. 3.5). В свою чергу, вісь Z була направлена в центр сталевієї пластини, та є направляючою глибини тріщини.

У вікні налаштувань об'єкту Crack було вказано, побудовану, координатну систему, а також задані головні параметри тріщини. А саме (рис.3.6): великий радіус тріщини (Major Radius) = 10 мм, малий радіус тріщини (Minor Radius) = 0,5 мм

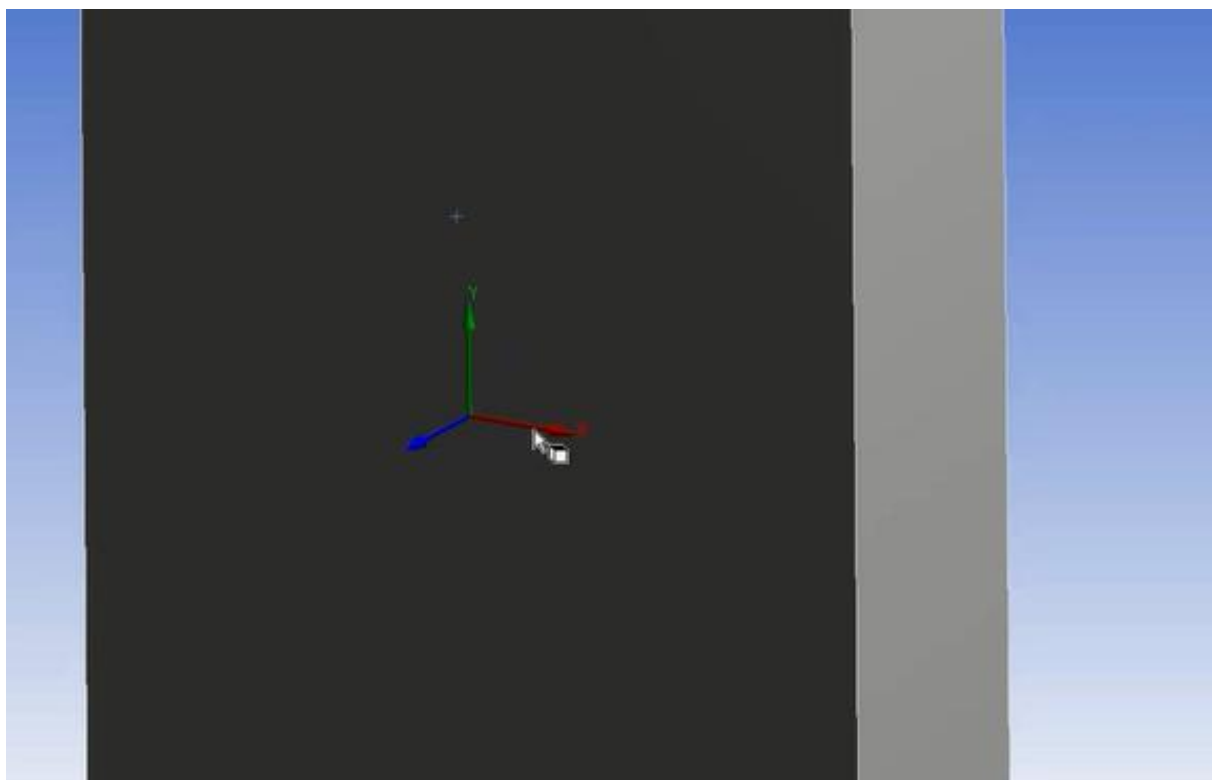


Рисунок 3.5 - Координатна система напівеліптичної тріщини.

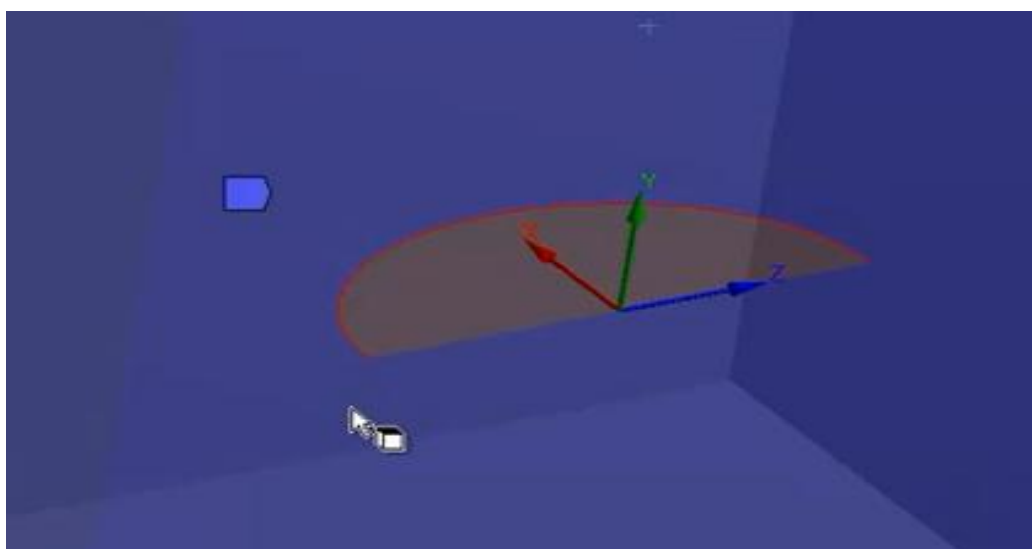


Рисунок 3.6 – Імітаційне моделювання тріщини на геометрії тіла

Далі було задано радіус великого контура (Largest Contour Radius) = 0,5 мм, навколо вершини тріщини, для даного параметру повинно завжди виконуватись головна умова: контури параметрів повинні завжди залишатись в середині об'єму тіла. А також, у розділі Crack Front Divisions (Межевий метод), що вказує кількість розді-

лів для фронту тріщини, було встановлено кількість точок по довжині тріщини (рис.3.7).

Наступним етапом є побудова скінчено-елементної сітки. Сітка є невід'ємною частиною процесу комп'ютерного моделювання. Сітка впливає на точність, збіжність і швидкість рішення.

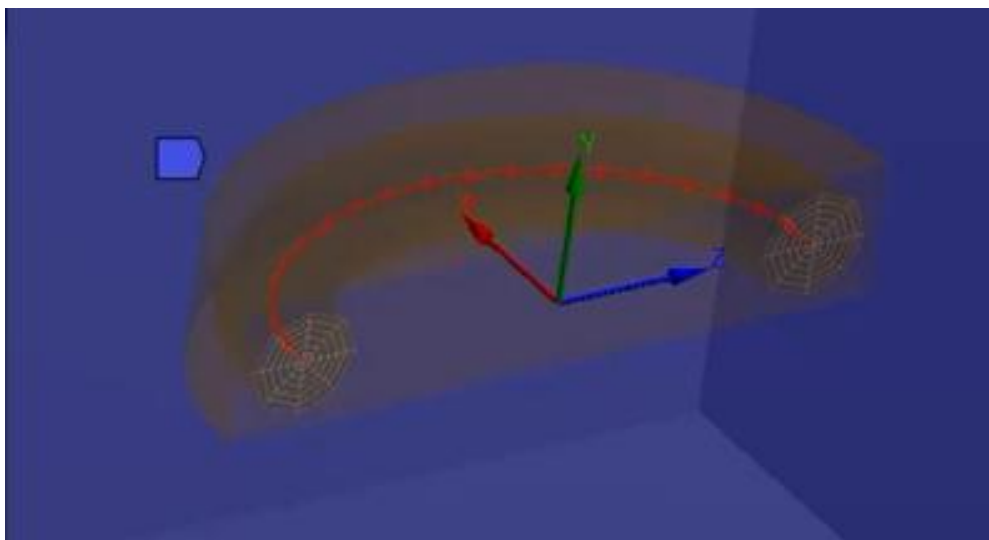


Рисунок 3.7 – Встановлення кількості точок по довжині тріщини за допомогою параметру Crack Front Divisions.

Для цього в дереві моделі було обрано об'єкт Mesh. Операція Generate Mesh використовує всі визначені елементи управління з'єднанням, як вхід для створення сітки.

Розрізняють наступні місцеві засоби управління сіткою в програмному комплексі ANSYS [73](рис.3.8):

1. Method –це контроль форми елементів при генерації сітки.
2. Sizing - контроль розмірів.
3. Contact Sizing - щільність сітки в контактній області.
4. Mapped Face Meshing - впорядкованість сітки по розмітці.
5. Match Control - сітка на поверхнях, які сполучаються.
6. Inflation - контроль прикордонного шару.
7. Pinch -дозволяє видалити невеликі особливості на рівні сітки, для створення якісних елементів навколо зон.

За допомогою об'єкту Method в дереві моделі було обрано метод побудови скінченних елементів. Кожен з методів побудови сітки задовольняє специфічним вимогам, та дозволяє використовувати спрощену постановку задачі.

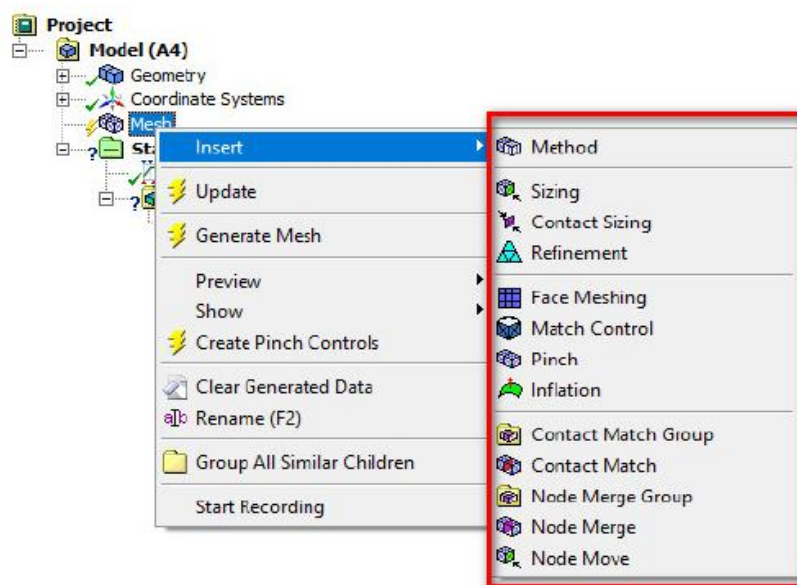


Рисунок 3.8 – Місцеві засоби управління сіткою

Розрізняють наступні методи створення сітки для тривимірних моделей :

1. Automatic – обирається найбільш ефективний метод у залежності від геометричної моделі.
2. Tetrahedons – тетраедри.
3. Hex Dominant - гексаедр – створюється невпорядкована гексагональна сітка. Використовується для об'ємних тіл, не застосовують для тонких та складних форм.
4. Sweep – протягування.
5. MultiZone - генератор сітки автоматично вибирає зони, в яких можна створити сітку видавлюванням.

За допомогою об'єкту Sizing було встановлено розмір скінченних елементів рівним  $=1$  мм. На рисунку 3.9 зображена виконана операція побудови сітки (Generate Mesh).

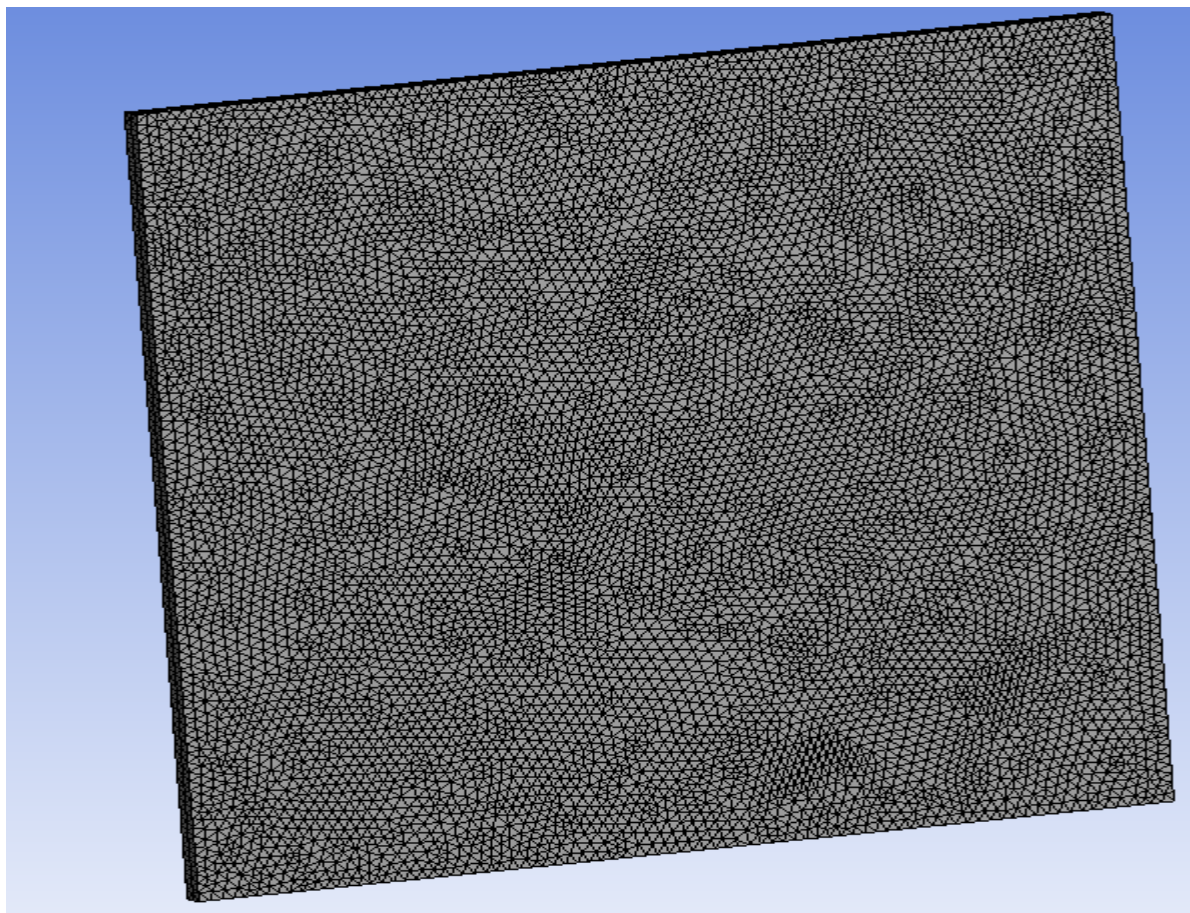


Рисунок 3.9 – Побудова скінченної елементної сітки

За допомогою реалізованого алгоритму вибору розміру скінченних елементів, дискретизація геометрії об'єкта проводиться з урахуванням кривизни поверхні та найкращого відображення її геометрії.

Після побудови скінченно елементної сітки для геометрії сталевієї пластини, було згенеровано сітку для геометрії напівеліптичної тріщини (рис.3.10). В даному випадку сітка тріщини будується, виходячи з значень головної сітки, елементи перерозбиваються. При побудові сітки ANSYS автоматично розшиває вузли між берегами тріщини, це означає, що верхня та нижня частини берегів тріщини незалежні один від одного.



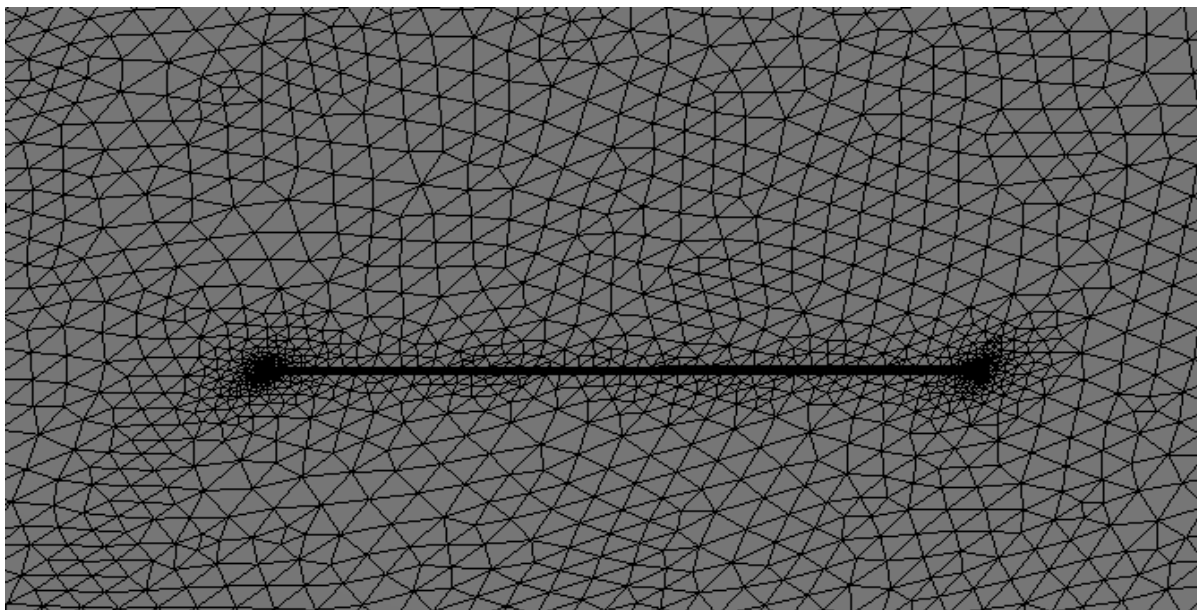


Рисунок 3.10 – Згенерована сітка для геометрії тріщини

Метою статичного аналізу є оцінка напружено-деформованого стану конструкції, що, в свою чергу, знаходиться під дією зовнішніх сил.

У блоці Setup потрібно задати необхідні для розрахунку граничні умови, зовнішні навантаження, а також матеріал моделі.

Для обраної моделі були задані навантаження в меню (Loads) обрано тиск (Pressure). Для розподілення тиску на поверхні пластини, треба обрати грань, до якої він буде прикладений та у вікні налаштувань підтвердити вибір. На рисунку 3.11 зображено вибрану грань, наступним кроком треба визначити величину навантаження. У даній роботі було встановлено навантаження = 1000 МПа, направлені в центр тріщини. Знак “-” вказує зміну напрямку навантаження.



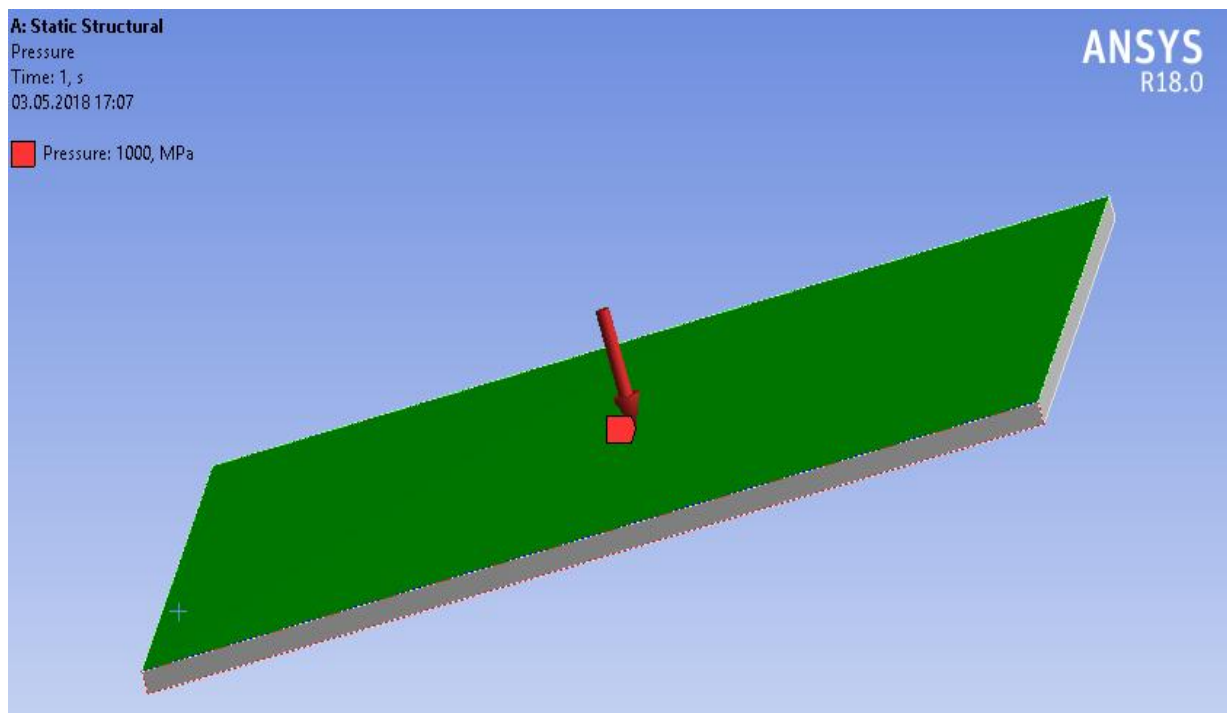


Рисунок 3.11 – Граничні навантаження сталевій пластини

За допомогою функції Fixed Support для обраної моделі були створені граничні умови, а саме, модель була зафіксована по всіх бокових гранях пластини.

Для відображення полів напружень та деформації, в дереві моделі було обрано елемент Solution, та на панелі інструментів обрано поля розподілу напружень.

Для аналізу напружень та деформацій напівеліптичної тріщини було обрано інструмент FractureTool (рис. 3.12), який дозволяє перетнути значення КІН.

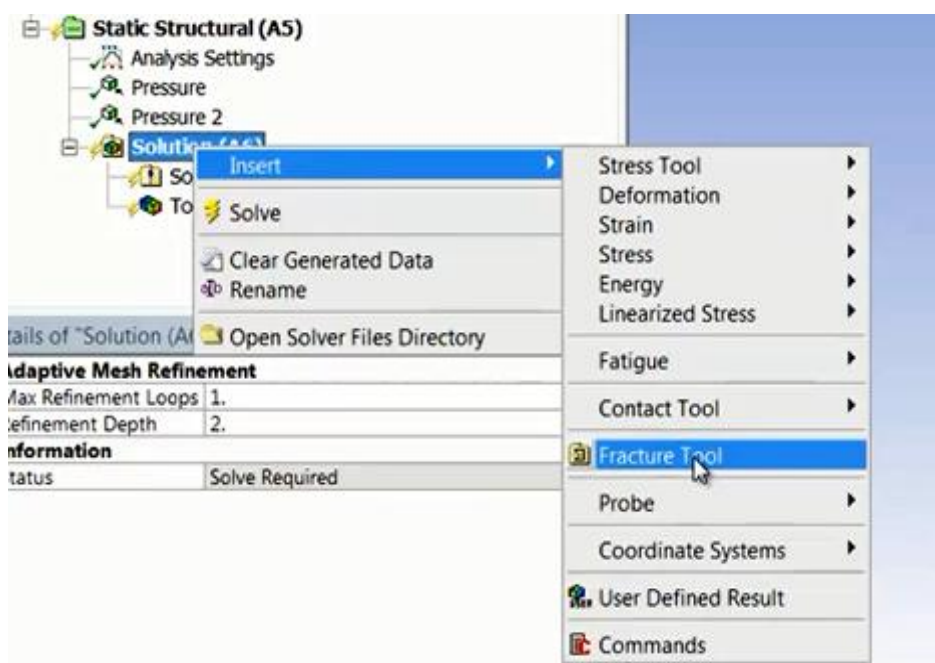


Рисунок 3.12 – Додавання інструменту FractureTool

Далі в інструмент FractureTool було додано епюри KIH (SIFS(K1)).

Останнім кроком в модулі Static Structural є відправка задачі на розрахунок.

### 3.2.2 Аналіз динаміки сталевієї пластини

Для досягнення повного руйнування об'єкту було використано модуль Explicit Dynamics.

Проведення сполученого аналізу полягає у використанні результатів одного типу моделювання (структурний аналіз) як вихідних даних для іншого (аналіз динаміки). Методика побудови розрахункової моделі для структурного аналізу сталевієї пластини була наведена в пункті 3.2.1, тому скористаємося отриманими результатами для проведення аналізу динаміки (модуль «Explicit Dynamics»).

Для цього у вікні проекту необхідно викликати контекстне меню блоку «Solution» і обрати передачу даних до нового модуля (рис. 3.13). Початкові умови для проведення сполученого аналізу в новий модуль автоматично передає ANSYS, утворивши з'єднувальні лінії між відповідними блоками (рис. 3.14).

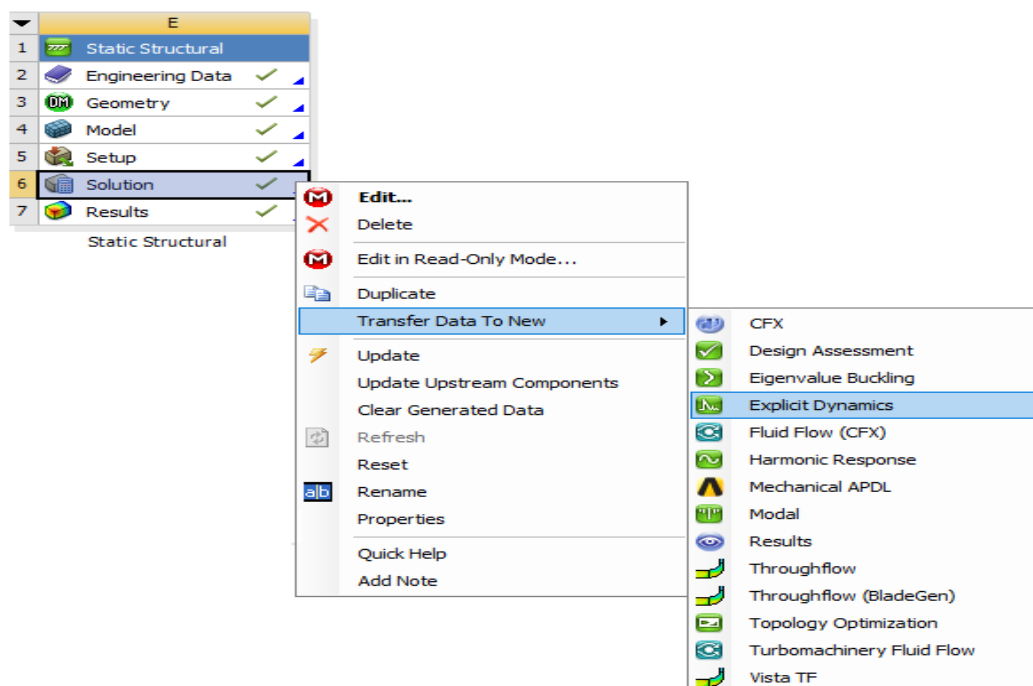


Рисунок 3.13 – Створення умов для сполученого аналізу

За допомогою блоку Engineering Data (рис.3.15.), в якості матеріалу для плати-ни було обрано сталь маркою Ст3пс.

Наступним кроком треба зробити генерацію сітки (рис 3.16). Якщо використовується декілька різних матеріалів, то в налаштуваннях геометричної моделі треба обрати необхідний матеріал.

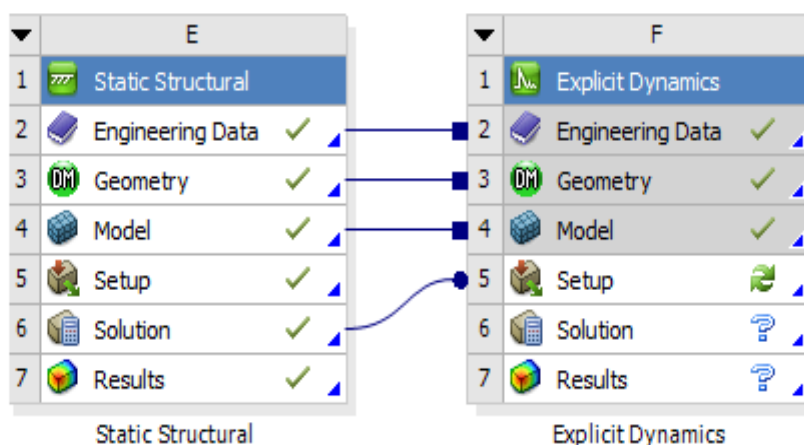


Рисунок 3.14 – Поєднання модулів для проведення сполученого аналізу

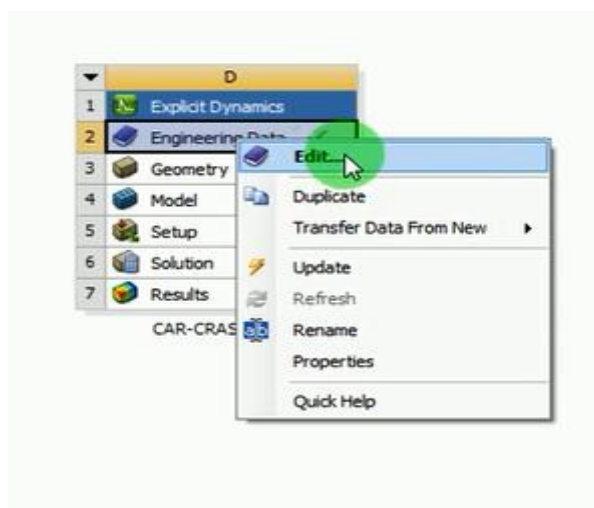


Рисунок 3.15 – Вхід до блоку Engineering Data

Процес налаштування параметрів сітки повинен відповідати модулю Static Structural. Єдина відмінність – у модулі Mesh необхідно вказати область фізики для

створення сітки, тобто Explicit Dynamics. На рисунку 3.17 можна побачити сгенеровану сітку для сталевих пластини.

Основним етапом дискретизації скінченних елементів є побудова окремої сітки для геометрії тріщини.



Рисунок 3.16 –Команда генерації сітки модуля Explicit Dynamics

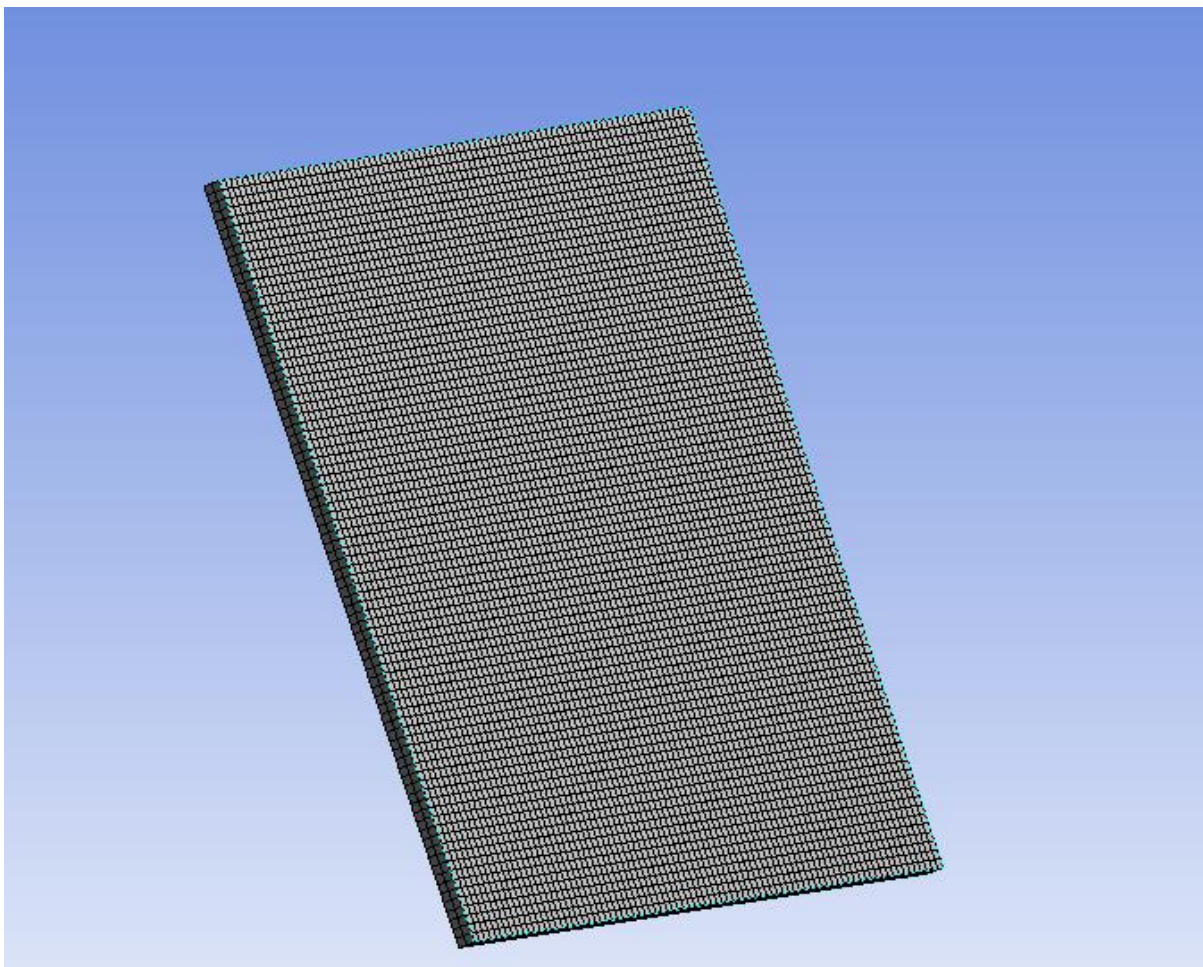



Рис. 3.17 - Побудова скінченної елементної сітки модуля Explicit Dynamics

Наступним кроком для виконання розрахунку є встановлення навантажень та вибір характеристики граничного стану об'єкту.

До основних налаштувань модуля належить: налаштування аналізу («Analysis Settings») та імпорт навантажень («Imported Load»). Серед загальних налаштувань слід змінити лише значення температури навколишнього середовища з  $22^{\circ}\text{C}$  на  $-5^{\circ}\text{C}$ .

За допомогою інструмента Fixed Support  було встановлено всі необхідні граничні умови (рис.3.18). В даному випадку зводиться до жорсткого закріплення. Після вибору типу граничної умови необхідно вказати відповідну грань для підтвердження

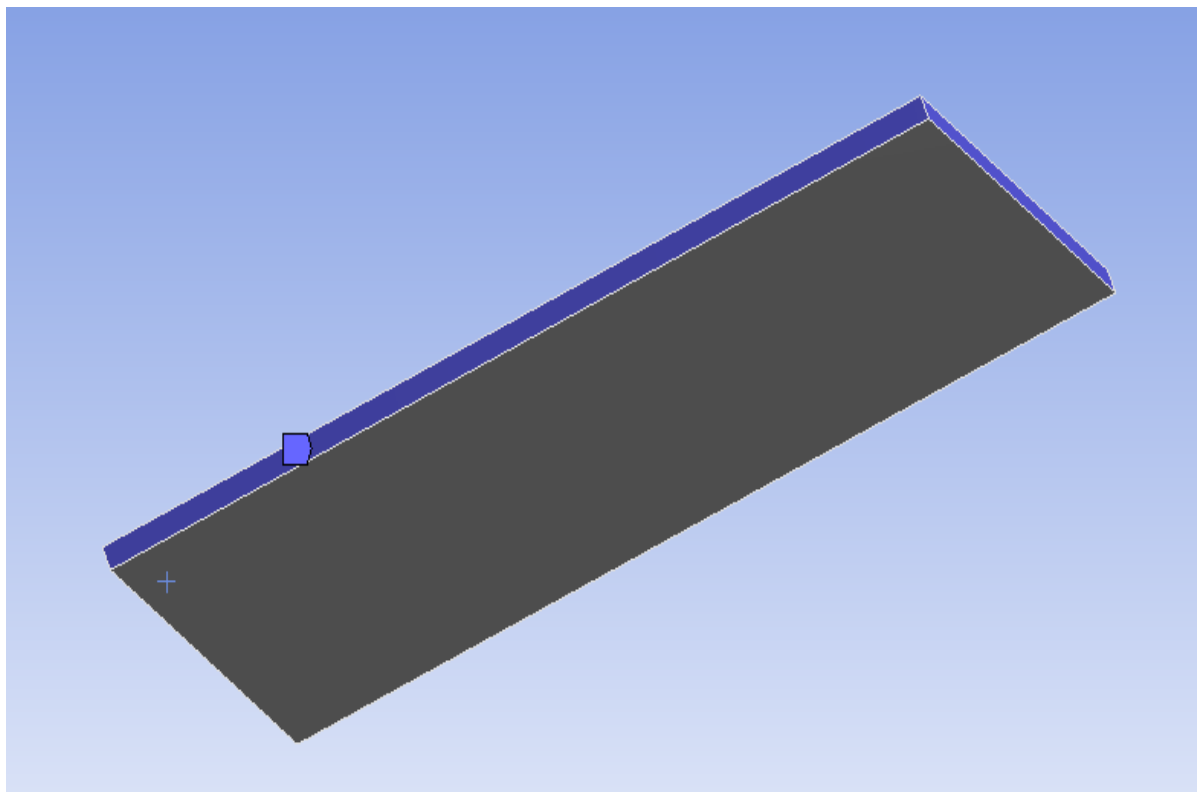


Рисунок 3.18 – Встановлення граничних умов

Після закінчення процесу імпорту розподіл векторів навантаження візуально відобразиться на геометричній моделі (рис. 4.20), а також з'явиться опис використаних кольорів та числові значення границь їх зміни.

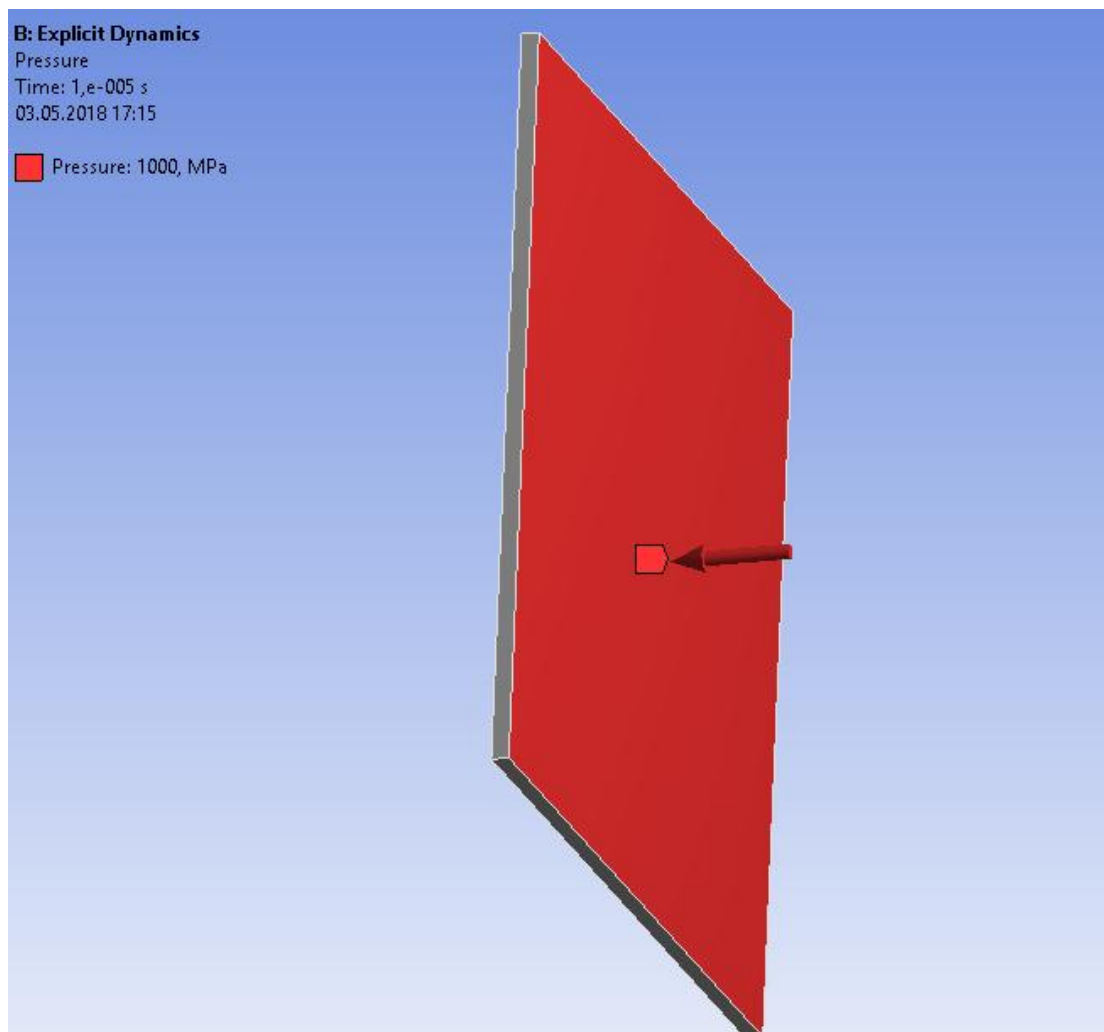
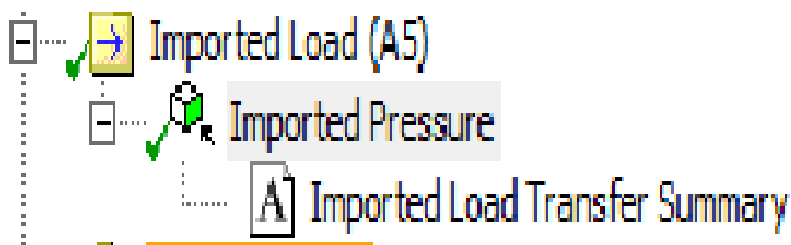


Рисунок 3.19 – Розподіл векторів навантаження

Для імпортування навантаження з модуля Static Structural, в дереві моделі потрібно обрати Imported Load, вибрати навантаження статичного модуля, правою клавішею мишки натиснути \*імпортувати\* (рис.3.20).



Риснок 3.20 – Імпорт навантажень з модуля Static Structural.

Останнім кроком моделювання є встановлення методів обчислення для модуля Explicit Dynamics та відправка задачі на розрахунок.

### 3.2.3 Аналіз результатів моделювання

Метою дослідження є дослідження процесу руйнування сталевієї пластини за допомогою імітаційного моделювання в програмному комплексі ANSYS 18.

Для порівняння результатів, було проведено моделювання двох різних геометричних моделей:

1. Пластина без тріщини
2. Пластина з тріщиною (процес руйнування)

За допомогою даних методик було проведено первинний аналіз напружено-деформованого стану сталевієї пластини.

Якісний аналіз напружень (рис. 3.21 -3.22) та деформацій (рис. 2.23 -3.26), викликаних навантаженнями показав, що найбільші деформації виникають в центральній області сталевієї пластини, а найбільші напруження розподілені по краю пластини зі сторони дії зовнішнього впливу. Чисельні значення наведено у таблицях 3.1 – 3.2, з яких видно, що максимальні деформації, викликані навантаженням, досягають  $-3,7342\text{мм}$ , а напруження  $-15703\text{МПа}$ .

Таблиця 3.1 - Результати моделювання пластини з тріщиною (Еквівалентне напруження)

Порогові значення	Аналіз динаміки
Максимальні навантаження, МПа	22059
Мінімальні навантаження, МПа	122,27



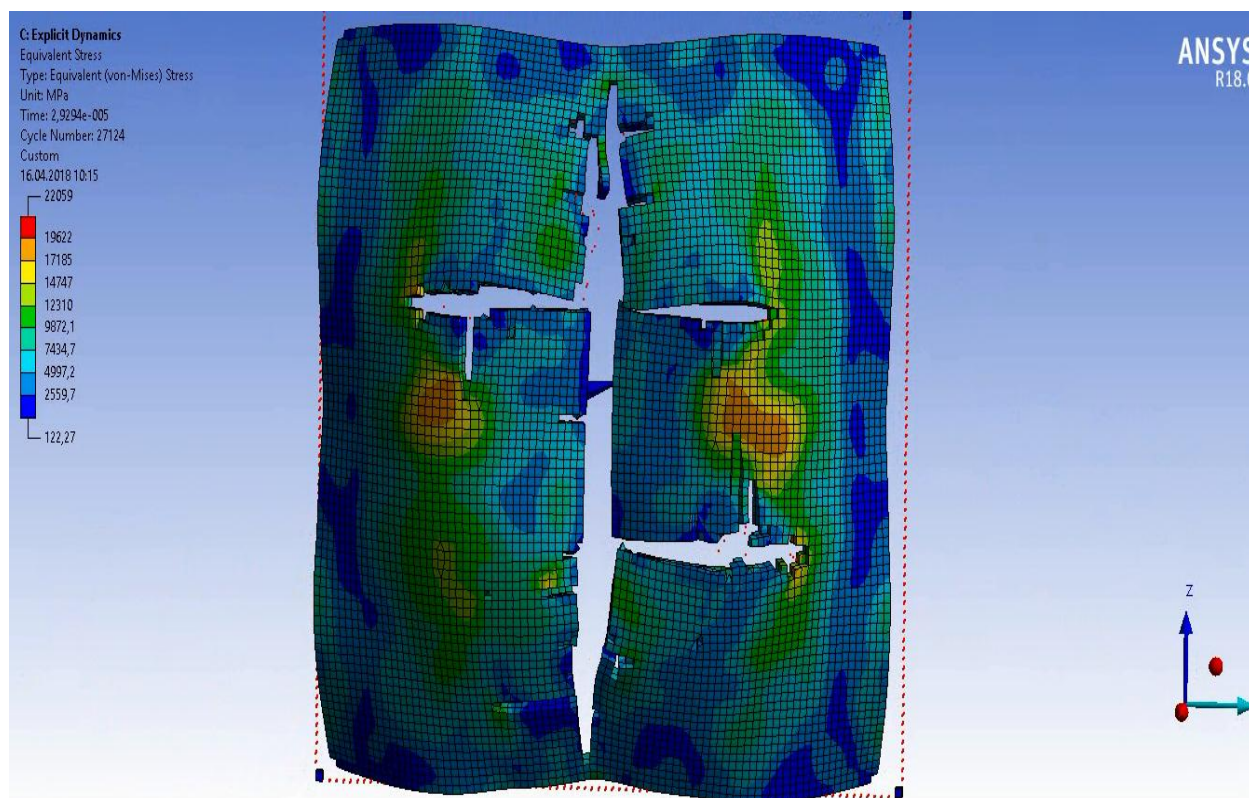


Рис.3.21 – Результати моделювання: Еквівалентне напруження в модулі Explicit Dynamics для геометрії тіла з пошкодженням

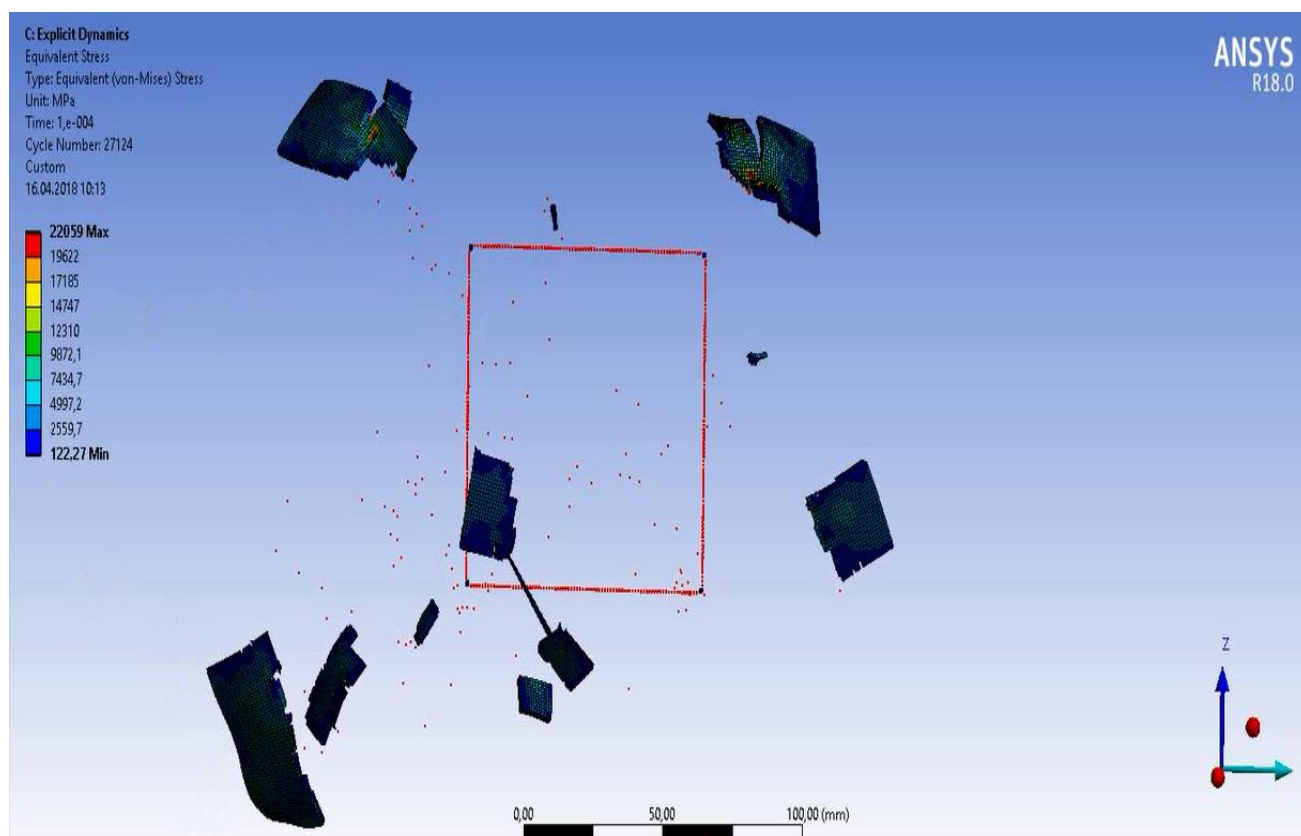


Рис.3.22 – Процес руйнування сталевї пластини

Таблиця 3.2 - Результати моделювання (Еквівалентне напруження)

Порогові значення	Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні навантаження, МПа	$2,0933 \cdot 10^6$	15703
Мінімальні навантаження, МПа	$1,871 \cdot 10^6$	471,53

Таблиця 3.3 - Результати моделювання (Переміщення)

Порогові значення	Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні переміщення, мм	458,57	3,7342

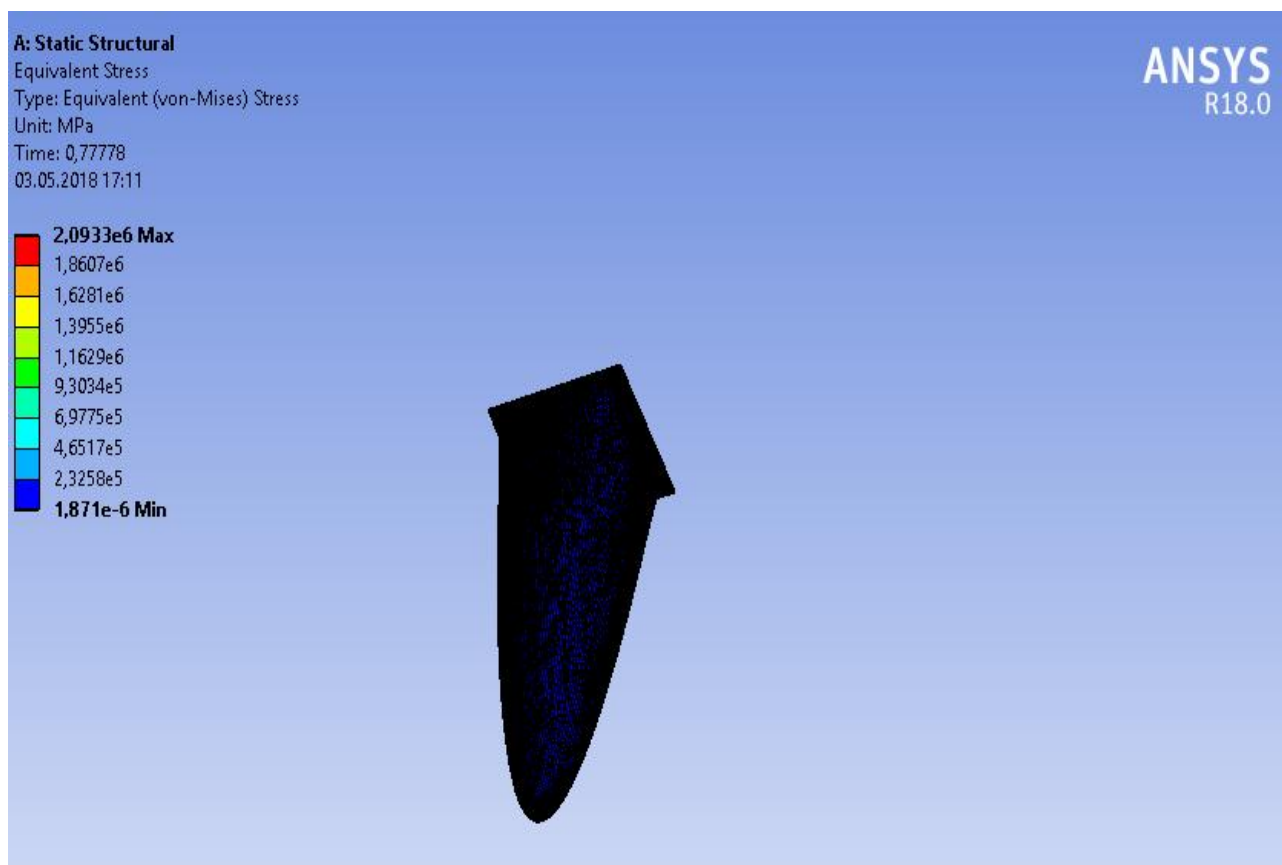


Рис.3.23 – Результати моделювання: Еквівалентне напруження в модулі Static Structural

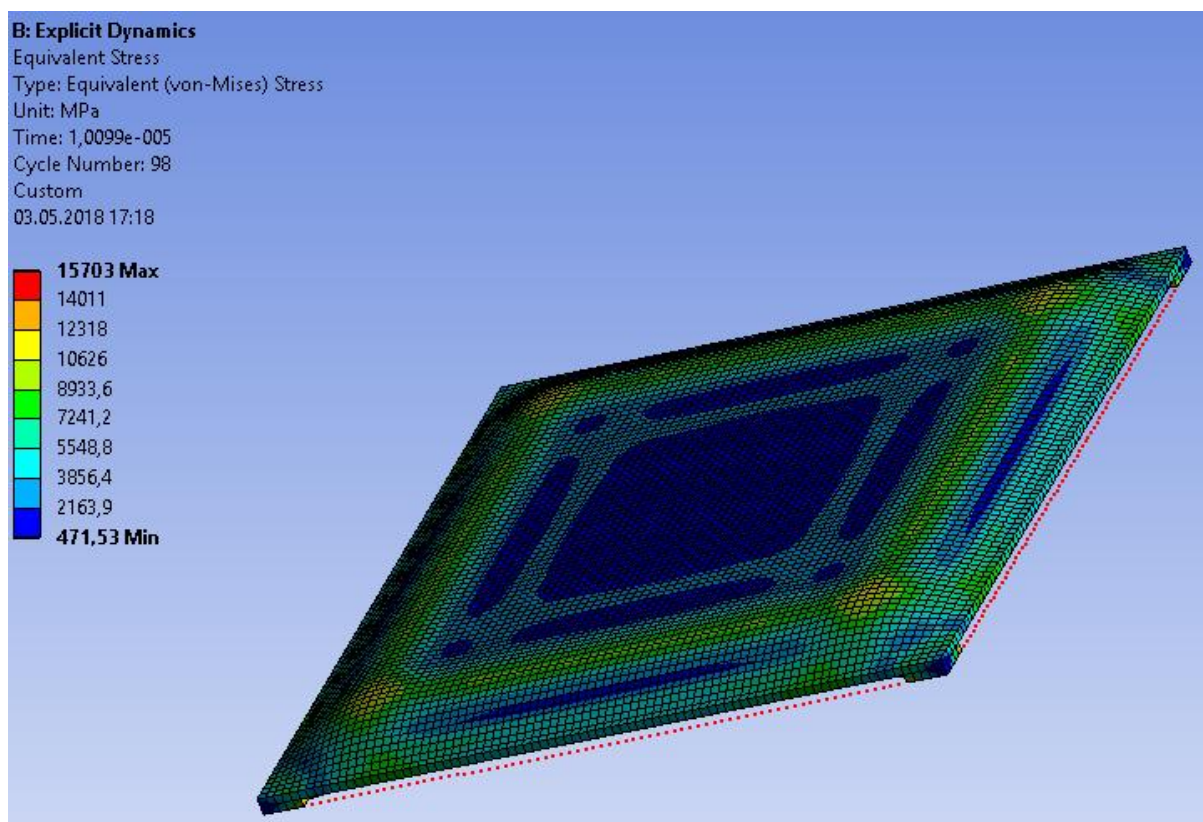


Рис.3.24 – Результати моделювання: Еквівалентне напруження в модулі Explicit Dynamics

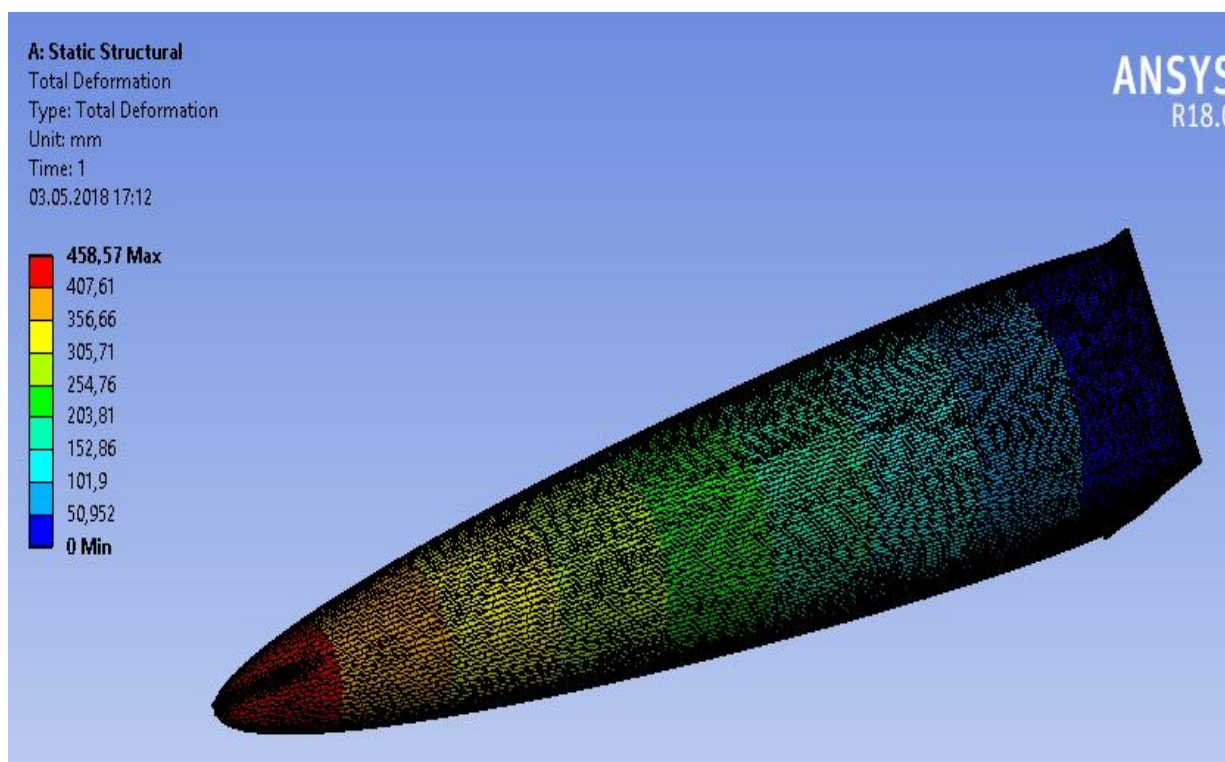


Рис.3.25 – Результати моделювання: Переміщення в модулі Static Structural



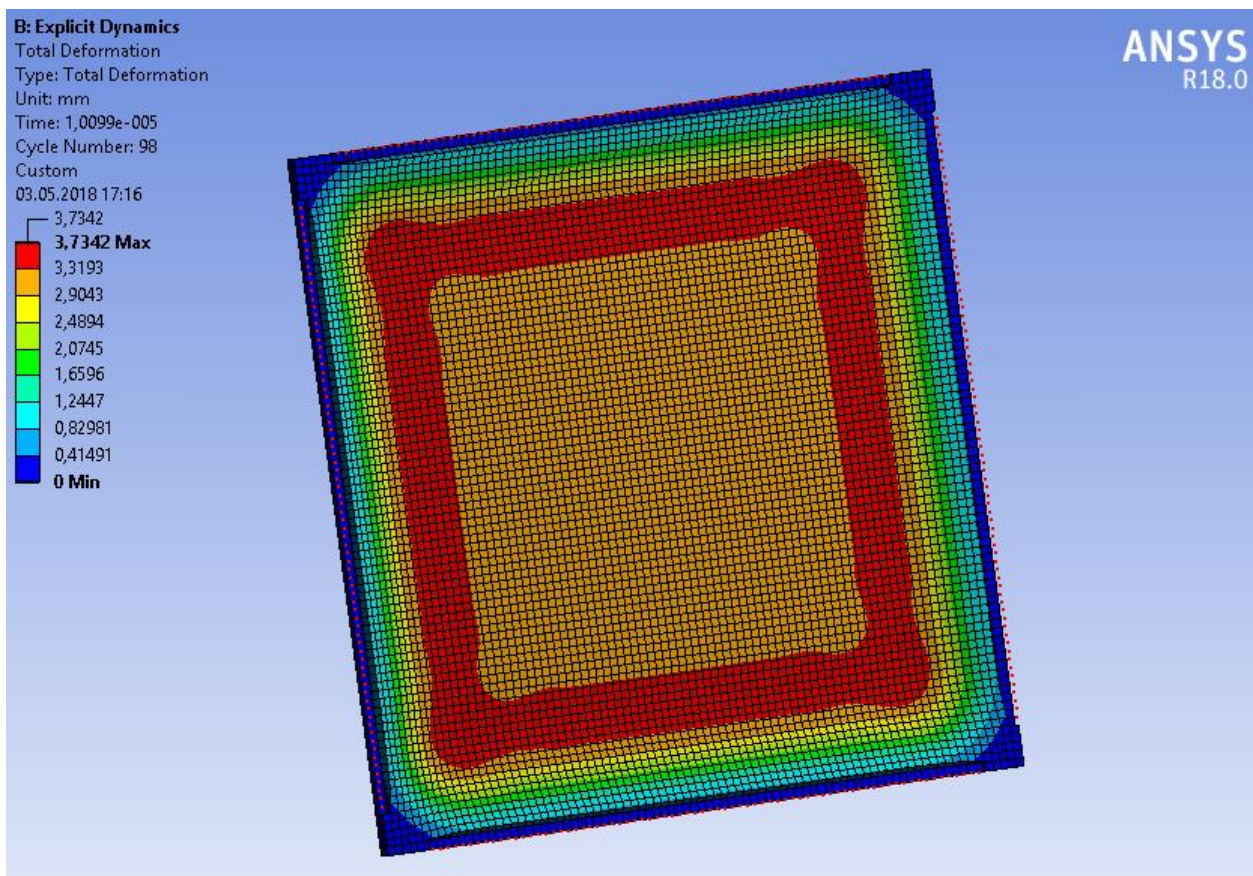


Рис.3.26 – Результати моделювання: Переміщення  
в модулі Explicit Dynamics

### 3.3 Методика побудови розрахункової моделі РВС у середовищі програмного комплексу ANSYS

Для перевірки технічних параметрів об'єкта контролю, (РВС, геометричні моделі якого були побудовані у другому розділі), надійності та безвідмовності роботи необхідно провести імітаційне моделювання, яке дозволить провести якісний аналіз результатів впливу тиску рідини, що зберігається в РВС, на його стінку при багато осередковому пошкодженні зварних швів.

У ході експериментального дослідження об'єкта, було проведено моделювання трьох різних геометричних моделей:

1. РВС без пошкодження;
2. РВС з пошкодженням;

3. інша побудова і розташування геометрії пошкодження.

В якості пошкодження об'єкта контролю було запропоновано використати тріщини у зварних швах. Буде розглянуто два випадки геометрії тріщини: через вбудовані в ANSYS інструменти та за допомогою зміни геометричної моделі шляхом видалення частини матеріалу шва.

### **3.3.1 Методика побудови розрахункової моделі РВС для розрахунку задачі гідродинаміки**

Оскільки буде розглядатися навантаження від дії рідини, яка зберігається в РВС, на його стінки, то для визначення цього навантаження необхідно виконати розрахунок задачі гідрогазодинаміки.

Для моделювання навантаження скористаємося модулем Fluid Flow (CFX). Для цього необхідно помістити модуль CFX у вікно проекту.

Структура більшості модулів містить сім блоків, але даний модуль (рис. 3.23) складається з шести наступних блоків:

- 1 Fluid Flow (CFX) – назва модуля;
- 2 Geometry – блок створення/редагування геометричної моделі;
- 3 Mesh – блок формування скінчено-елементної сітки;
- 4 Setup – блок попередніх установок таких, як граничні умови та матеріал;
- 5 Solution – розрахунковий блок;
- 6 Results – блок відображення результатів моделювання.

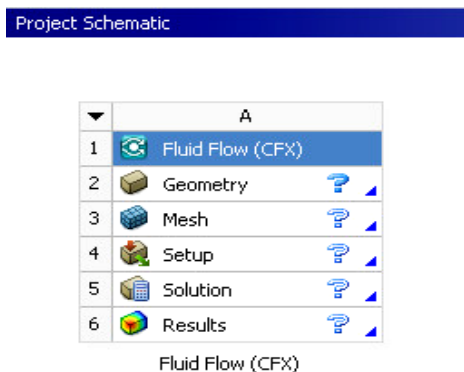


Рисунок 3.27 – Структура модуля Fluid Flow (CFX)

Першим кроком потрібно імпортувати геометричну модель, так як вона була створена за допомогою програмного продукту CATIA V5. Для цього треба правою кнопкою мишки викликати контекстне меню блоку «Geometry», вибрати пункти «Import~Browse» (рис 3.8) та вказати шлях до файлу моделі. Під пунктом «Browse» знаходиться перелік попередніх використаних моделей для більш швидкого доступу до них.

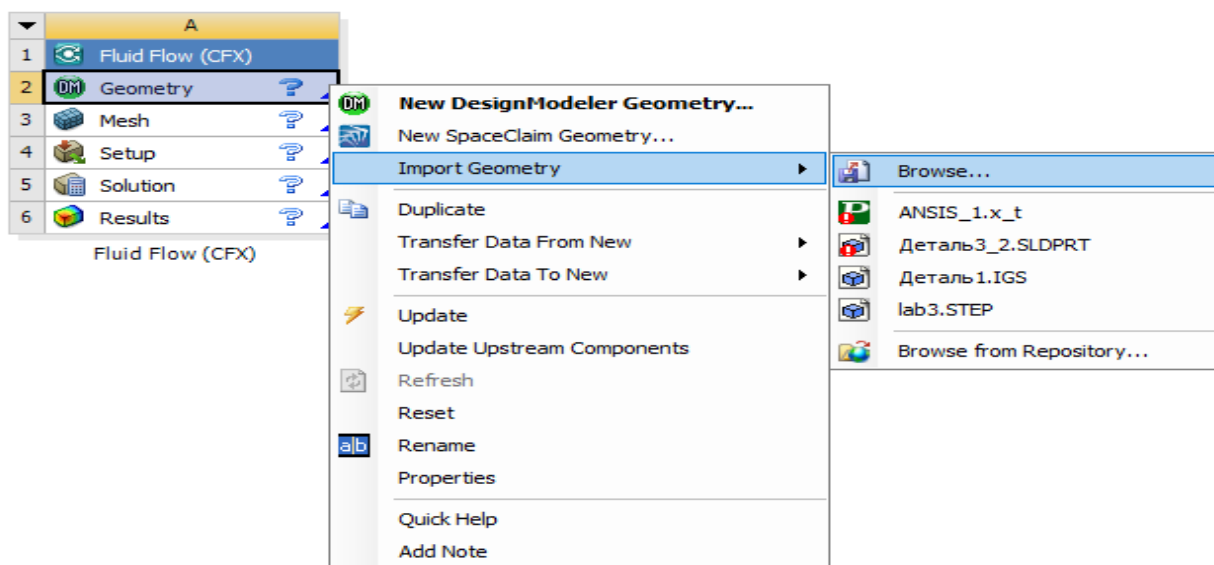

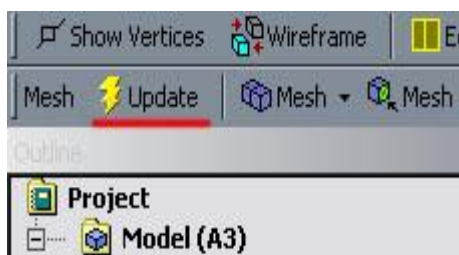


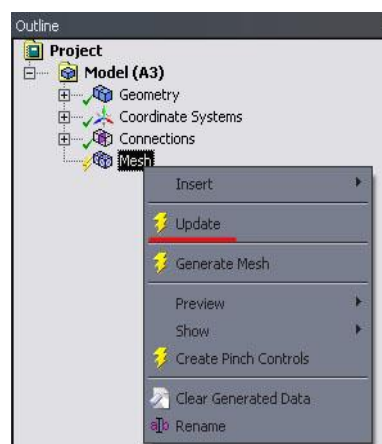
Рисунок 3.28 – Імпорт файлу геометричної моделі

Для спрощення завдання граничних умов, за допомогою операції Named Selections  Named Selections, було зроблено розбиття геометричного об'єкту на окремі компоненти, тобто були згруповані окремі поверхні. Доречним було розділити поверхні за фізичним станом, а саме: на рідину та тверде тіло.

Наступним кроком має бути дискретизація геометричної моделі, іншими словами побудова сіткової моделі. Створення сітки є невід’ємною частиною інженерного моделювання об’єкта. Так як геометрія конструкції дозволяє побудувати структуровану сітку, у розрахунках будуть використані переважно елементи форми гексаедр. Для точності розрахунку було вказано розміри та кількість скінченних елементів. Після цього за допомогою кнопки на панелі інструментів (рис. 3.29, а) або контекстного меню (рис. 3.29, б) можна розпочати побудову сітки. Результат зображено на рисунку 3.30.



а)



б)

Рисунок 3.29 – Початок побудови сітки: а) через панель інструментів; б) за допомогою контекстного меню

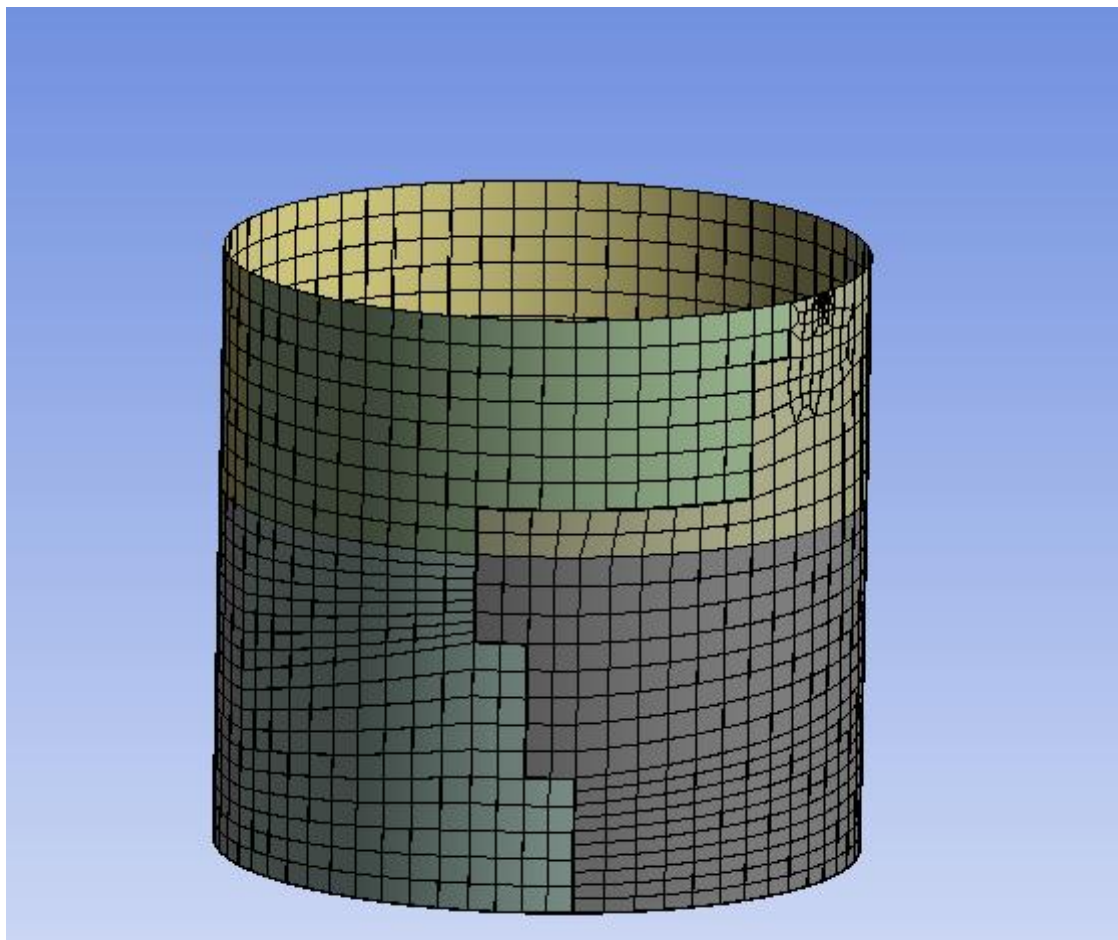


Рисунок 3.30 - Побудована скінчено-елементна сітка для PVC

У блоці «Setup» потрібно задати необхідні для розрахунку граничні умови, а також матеріал моделі.

При першому вході у блок «Setup» усі елементи належать до середовища типу \*рідина\*, тому, в першу чергу, необхідно провести розділення: модель рідини залишити рідиною, а модель PVC змінити на тверде тіло. Для цього необхідно створити нове середовище «Domain». У налаштуваннях середовища необхідно задати:

- 1 - тип середовища;
- 2 – області сітки, які належать даному середовищу
- 3 – матеріал середовища;
- 4 – модель плавучості (тільки для рідини).

Нажаль хімічний склад палива, що використовується на станції Академік Вернадський, має досить важку структуру, та не входить до стандартної бібліотеки матеріалів програмного комплексу ANSYS. Саме тому, заміником було використано



хімічний склад води  $\text{H}_2\text{O}$ . В якості матеріалу для моделювання резервуару, було обрано конструктивну сталь марки Ст3пс(рис. 3.31).

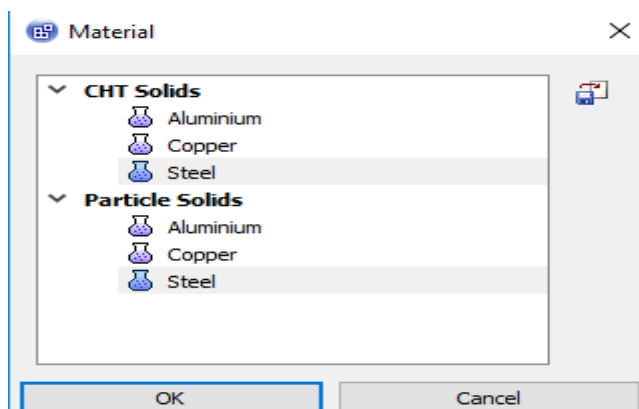


Рисунок 3.31 – Призначення елементам відповідний матеріал

Також для розглянутої моделі необхідно створити (рис. 3.32) наступні інтерфейси, які забезпечують взаємодію між різними середовищами:

- Solid –Solid ( тверде тіло – тверде тіло)
- Solid –Fluid (тверде тіло – рідина)

Задавши всі граничні умови та вказавши всі інтерфейси, задачу гідрогазодинаміки можна запускати на розрахунок.

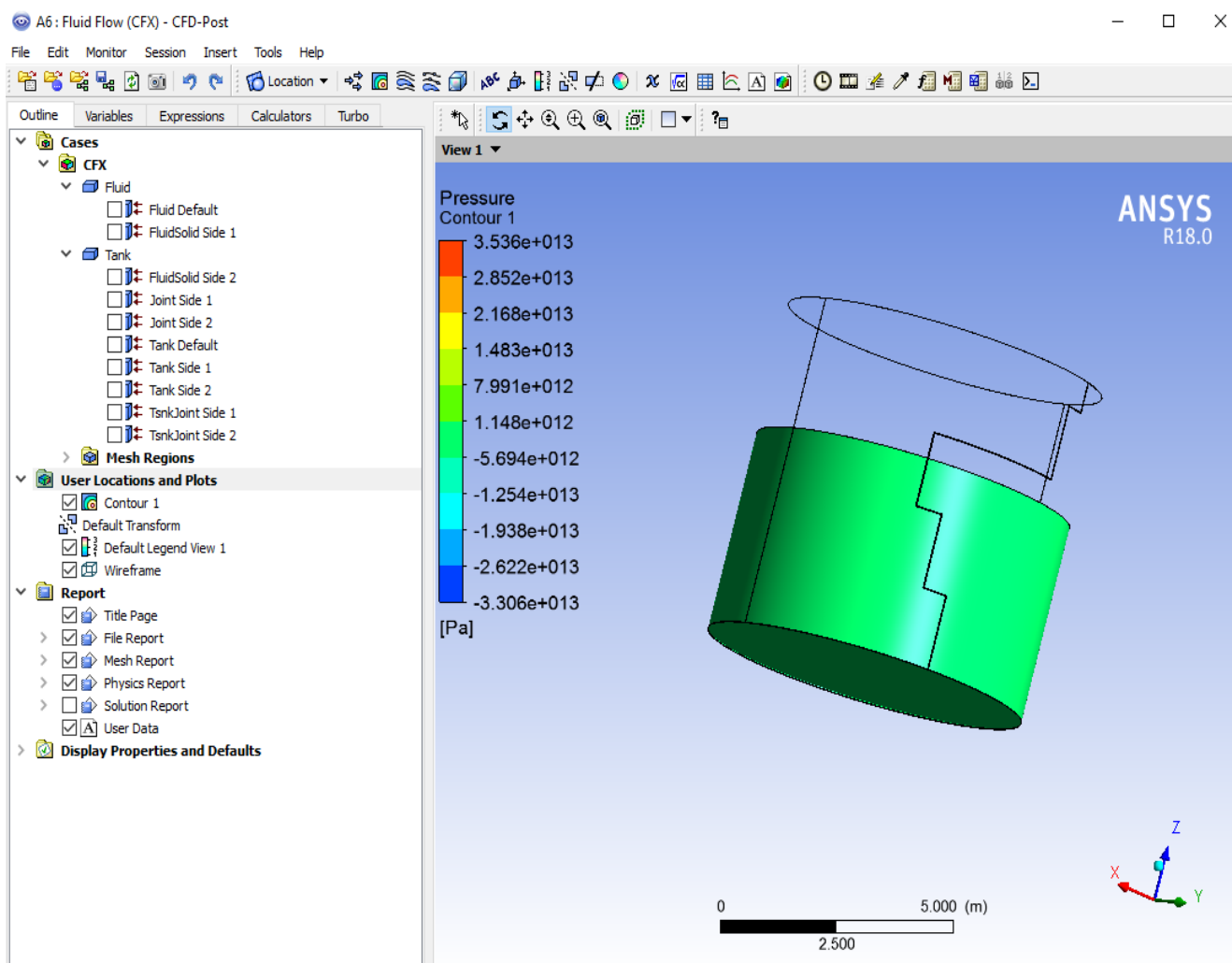


Рисунок 3.32 – Створення інтерфейсів Solid –Solid та Solid –Fluid

### Сполучений аналіз рідина конструкція

При проведенні сполученого аналізу рідина-конструкція основним є використання результатів моделювання навантаження від дії рідини, як вихідних даних, для структурного аналізу.

Першим етапом створення є передача даних до нового модуля Static Structural. Для цього у вікні проекту необхідно викликати контекстне меню блоку «Solution» і обрати «Transfer Data To New» (переміщення даних до нового модуля)(рис. 3.33). За допомогою даної функції, початкові умови для проведення сполученого аналізу передаються автоматично в новий модуль, утворивши з'єднувальні лінії між відповідними блоками (рис. 3.34).

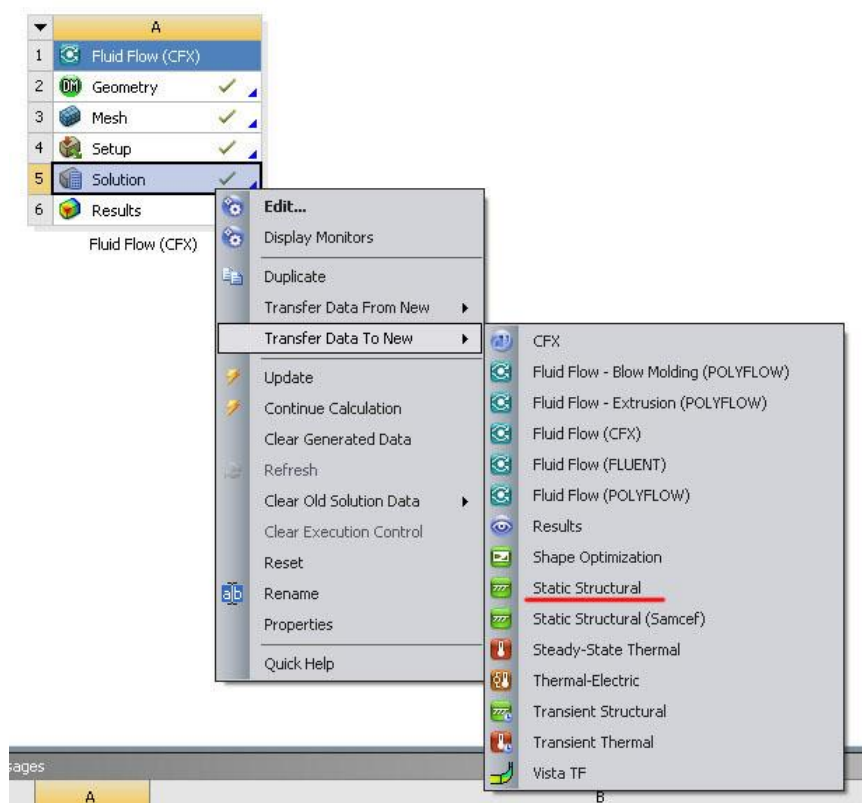


Рисунок 3.33 – Створення умов для сполученого аналізу

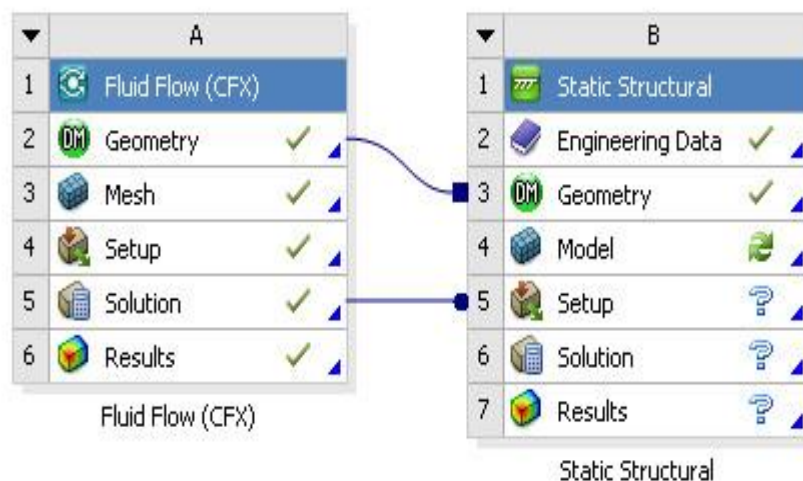
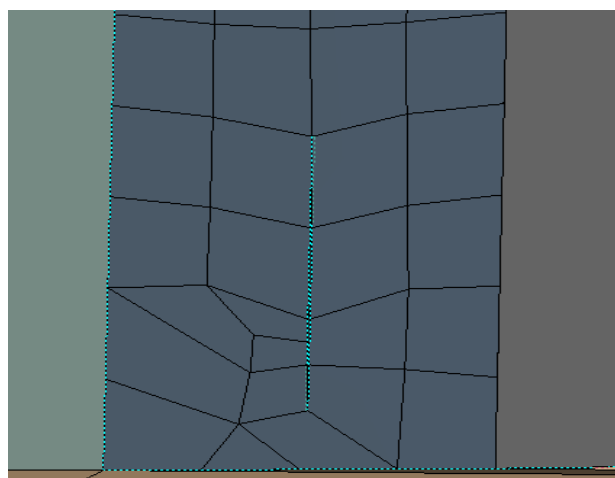
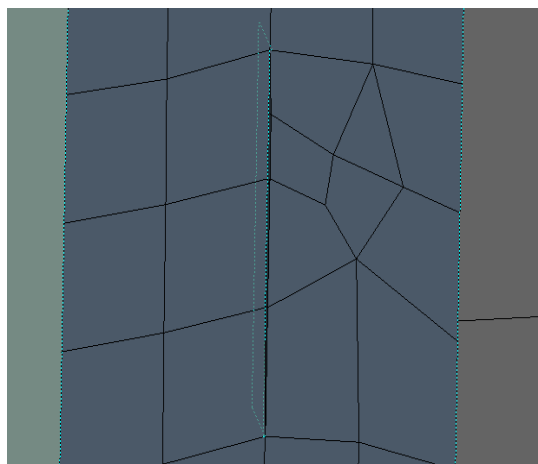


Рисунок 3.34 – Поеднання модулів для проведення сполученого аналізу

Основні етапи налаштування модулів Static Structural та Explicit Dynamics аналогічні до пункту 3.2.1 (статичний аналіз) та 3.2.2 (аналіз динаміки). На рисунках 3.35 - 3.39 можна побачити основні етапи налаштування модулів та результати імітаційного моделювання.



а)



б)

Рисунок 3.35 – Геометрія побудови пошкоджень в зоні зварного шва ( дві тріщини у вертикальній частині нижнього поясу): а) нижня біля дна РВС; б) верхня.



Рисунок 3.36 – Геометрія побудови пошкодження (три тріщини у горизонтальній частині зварного шва)

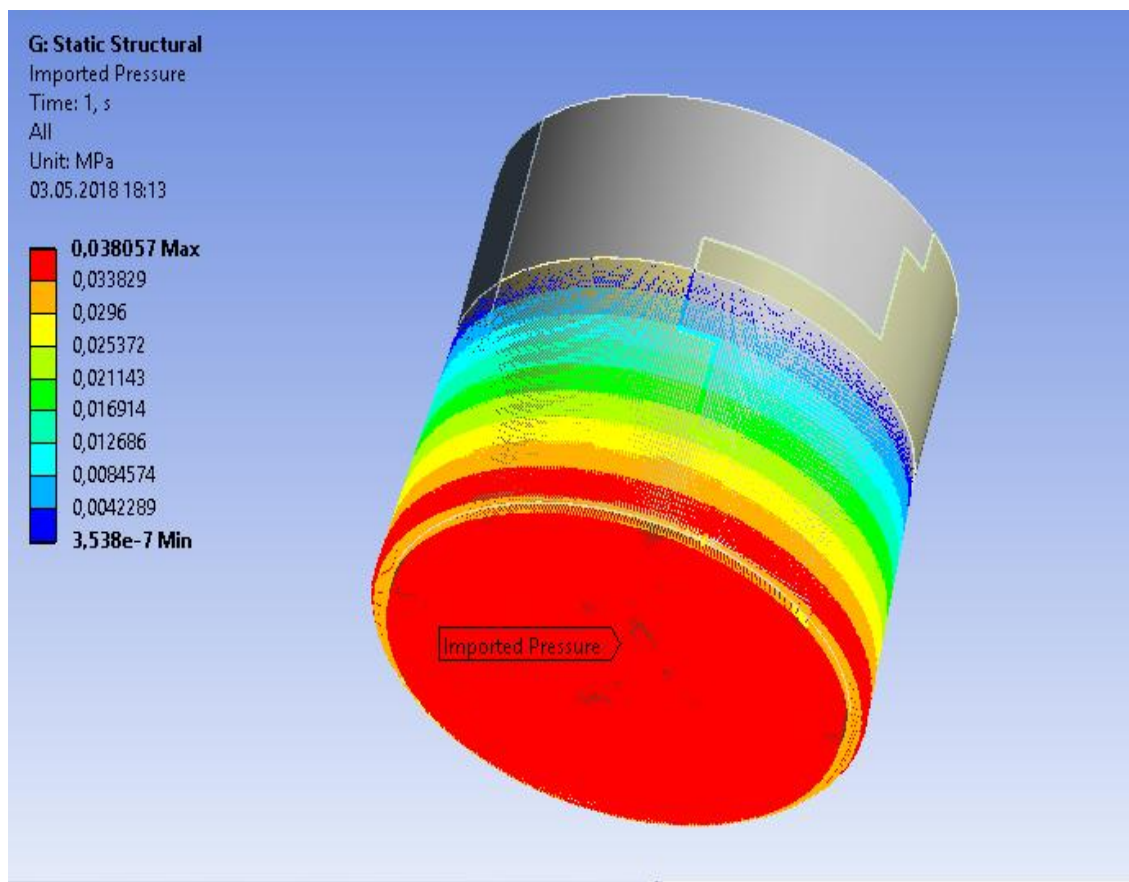


Рисунок 3.37 – Імпортовані навантаження рідини з модулю Fluid Flow (CFX)

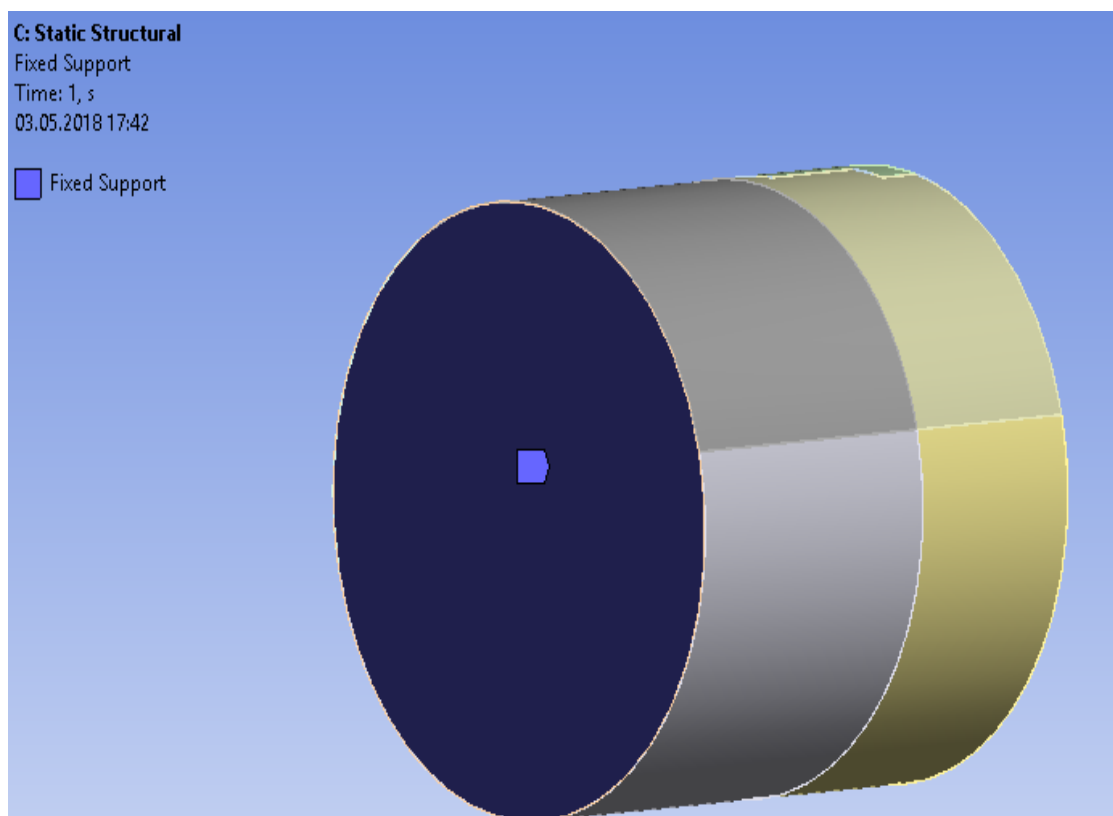


Рисунок 3.38 – Фіксація дна резервуара за допомогою інструмента Fixed Support

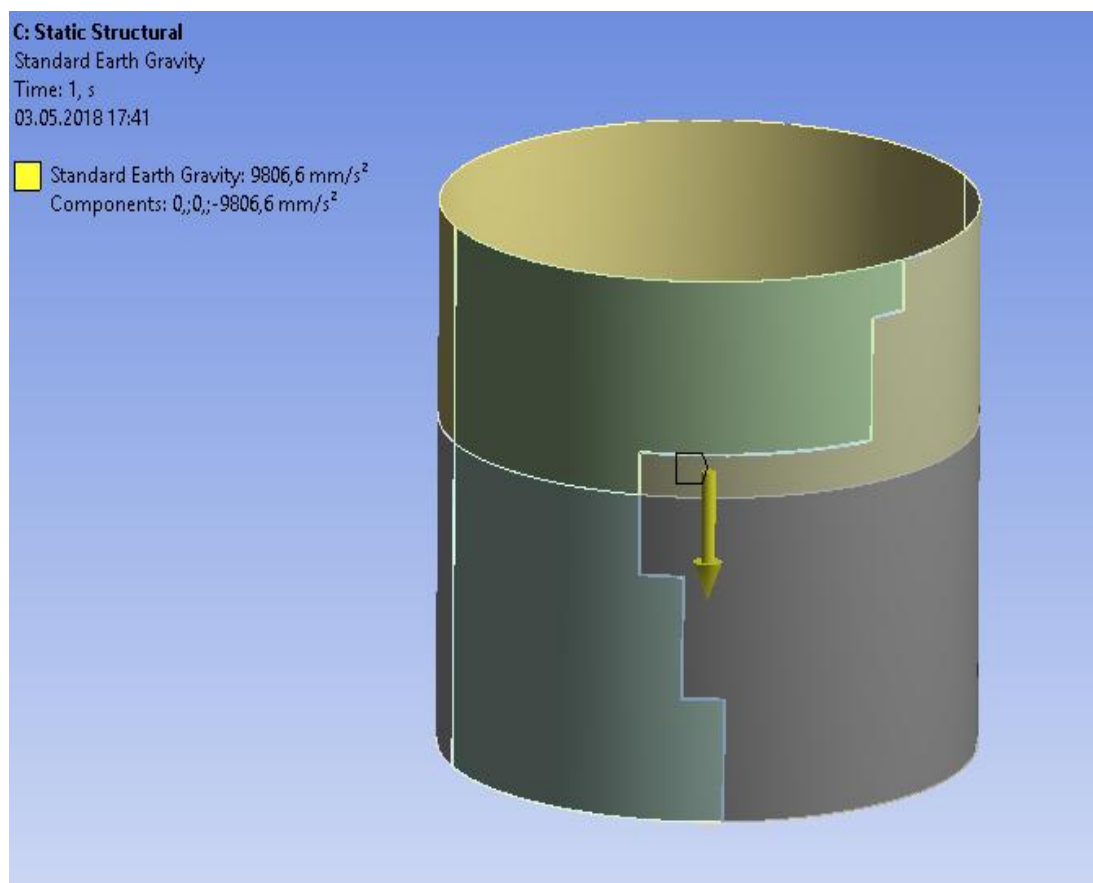


Рисунок 3.39 – Розподіл векторів навантаження

### 3.3.2 Аналіз результатів моделювання

Метою дослідження є процес руйнування резервуара вертикального сталевого за допомогою імітаційного моделювання у програмному комплексі ANSYS 18, та визначення найбільш аварійних точок на стінках РВС для встановлення датчиків.

Для порівняння результатів, було проведено моделювання чотирьох різних геометричних моделей:

1. резервуар без тріщини;
2. резервуар з однією тріщиною;
3. резервуар з двома тріщинами;
4. резервуар з трьома тріщинами.

За допомогою даних методик було проведено первинний аналіз напружено-деформованого стану РВС.

Якісний аналіз напружень та деформацій (рис.3.40 -3.64), викликаних навантаженнями, показав, що найбільші деформації виникають на кінцях швів РВС та у області ніжньої поясу РВС. Числові значення наведено у таблицях 3.4 – 3.9, з яких видно, максимальні деформації та напруження.

Таблиця 3.4 - Результати моделювання РВС без пошкодження:  
еквівалентне напруження

Порогові значення	Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні навантаження, МПа	123,04	191,65
Мінімальні навантаження, МПа	0,00015112	$1,869 \cdot 10^{-8}$

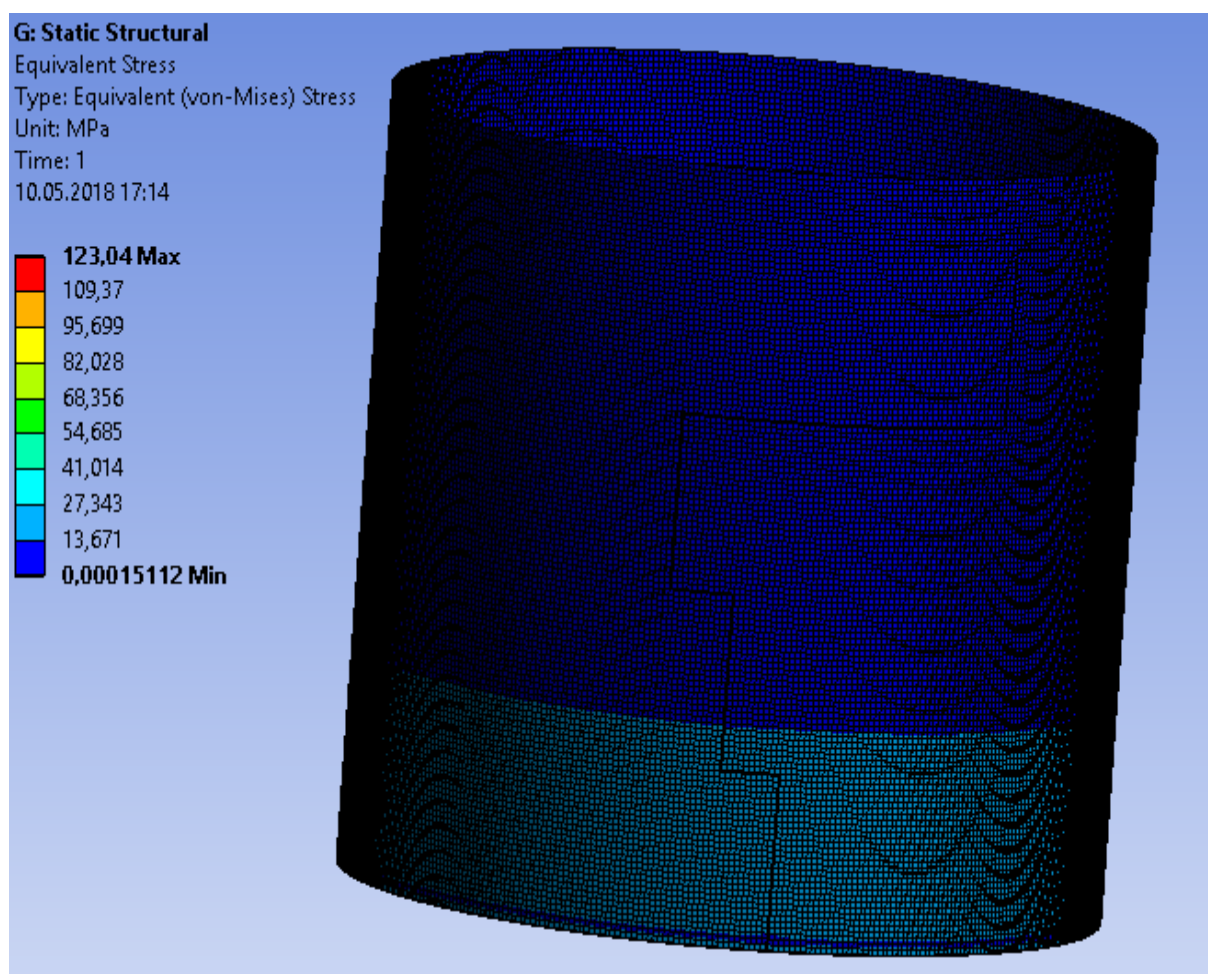


Рисунок 3.40 - Результати моделювання РВС без пошкодження: еквівалентне напруження у модулі Static Structural (загальний вигляд)



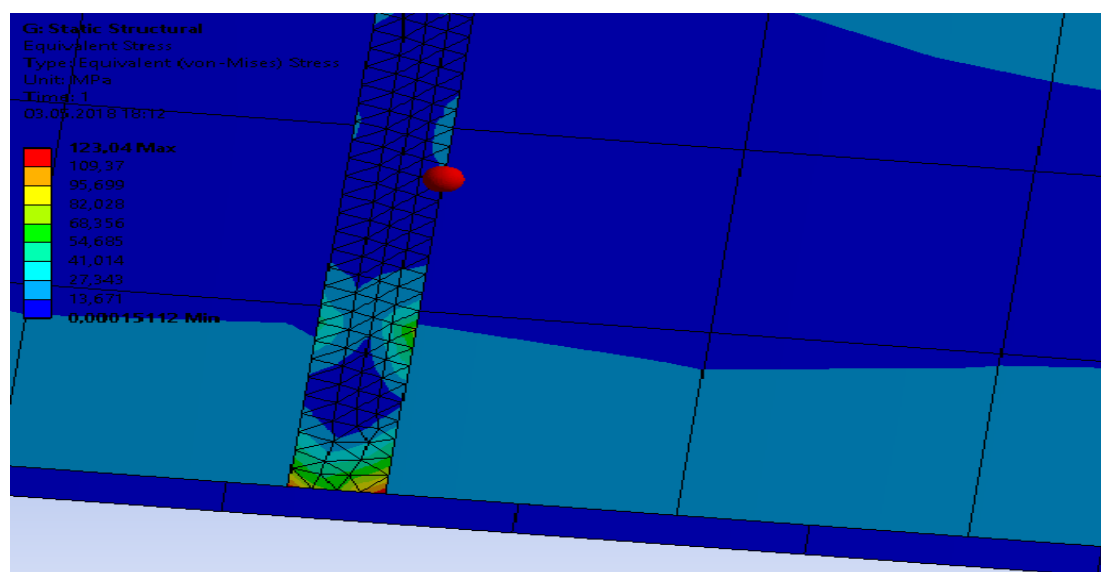


Рисунок 3.41 - Результати моделювання PVC без пошкодження: еквівалентне напруження у модулі Static Structural

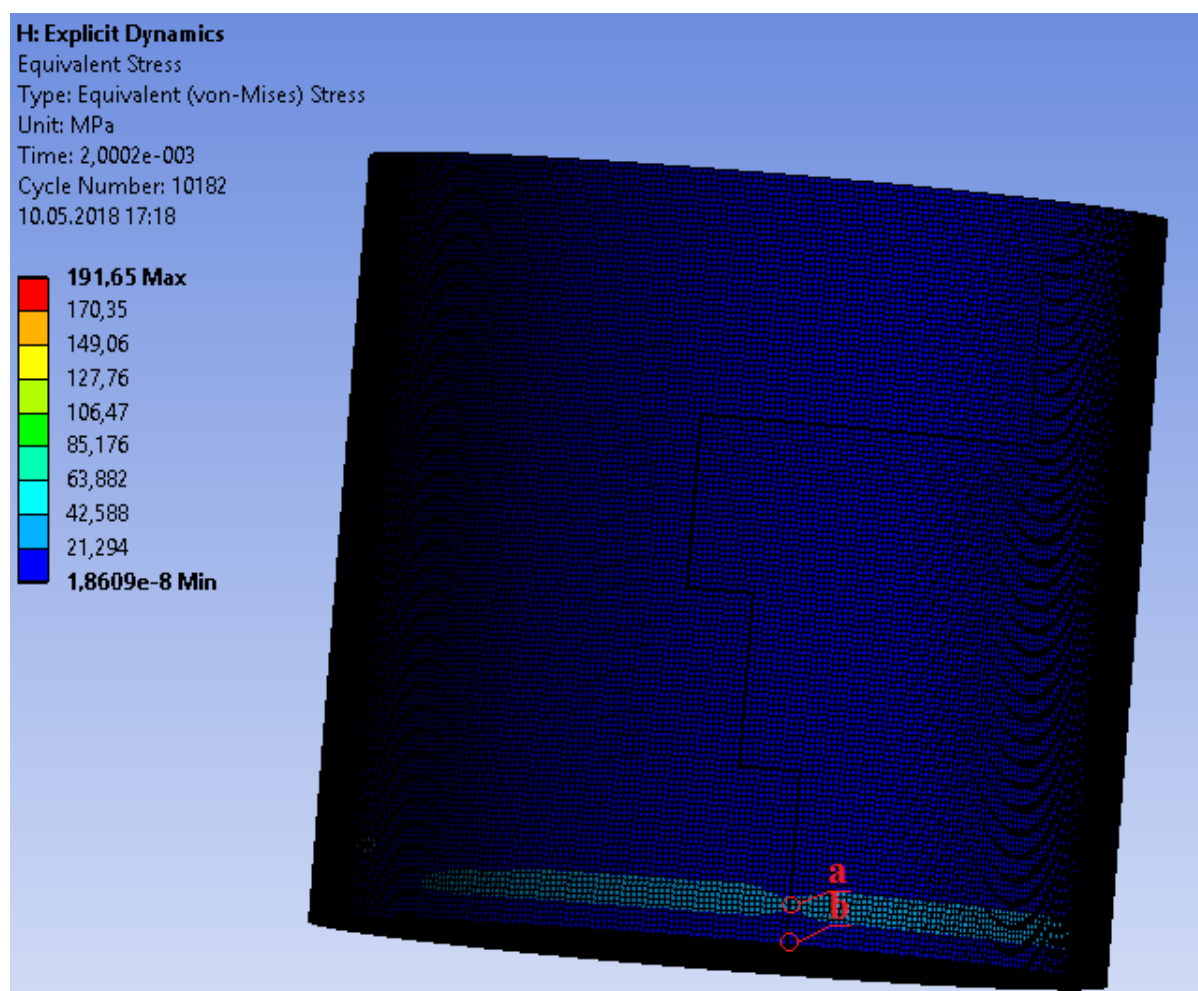
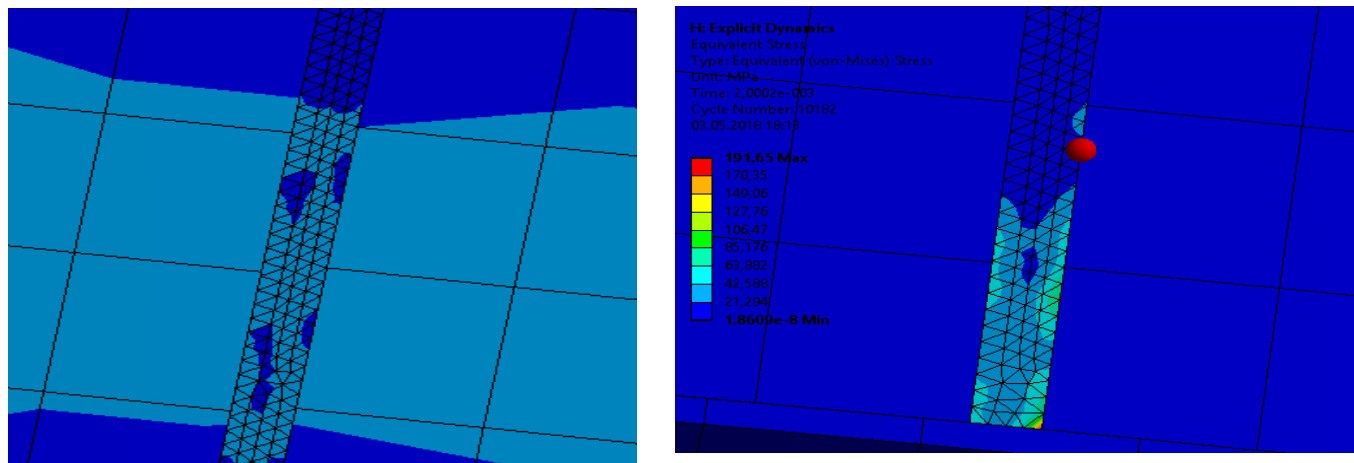


Рисунок 3.42 - Результати моделювання РВС без пошкодження: еквівалентне напруження у модулі Explicit Dynamics (загальний вигляд)



а)

б)

Рисунок 3.43 – Результати моделювання максимального напруження

РВС без пошкоджень у модулі Explicit Dynamics: а ) вертикальна частина зварного шва нижній пояс; б) нижня область біля дна РВС;

Таблиця 3.5 - Результати моделювання РВС без пошкодження: деформації

Порогові значення	Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні деформації, мм	0,47491	0,44778

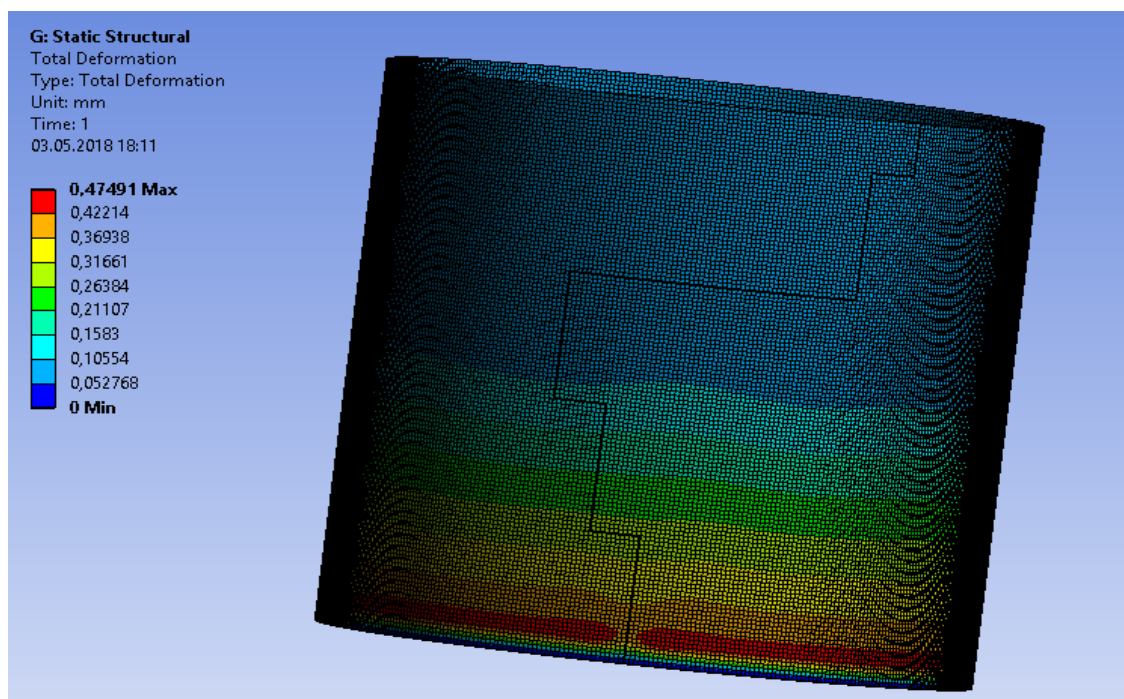


Рис.3.44 – Результати моделювання РВС без пошкодження: деформація у модулі Static Structural

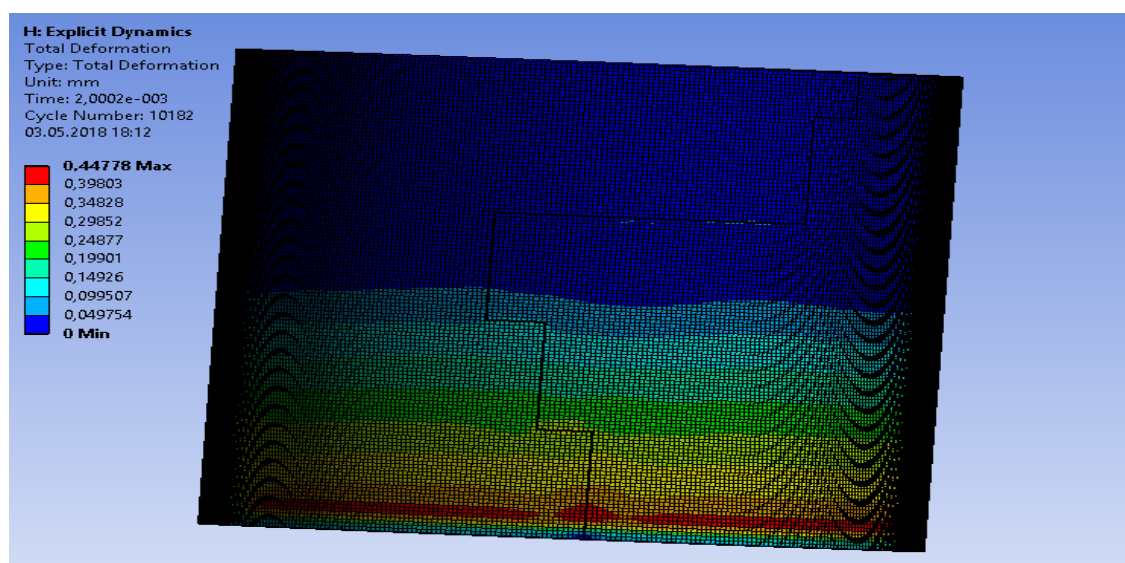


Рис.3.45 – Результати моделювання РВС без пошкодження: деформації у модулі Explicit Dynamics

Таблиця 3.6 - Результати моделювання РВС з пошкодженням, у вигляді тріщини: еквівалентне напруження

Порогові значення		Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні	наванта-	243,73	125,19

ження, МПа		
1Мінімальні навантажен- ня, МПа	0,0024252	0,0024561

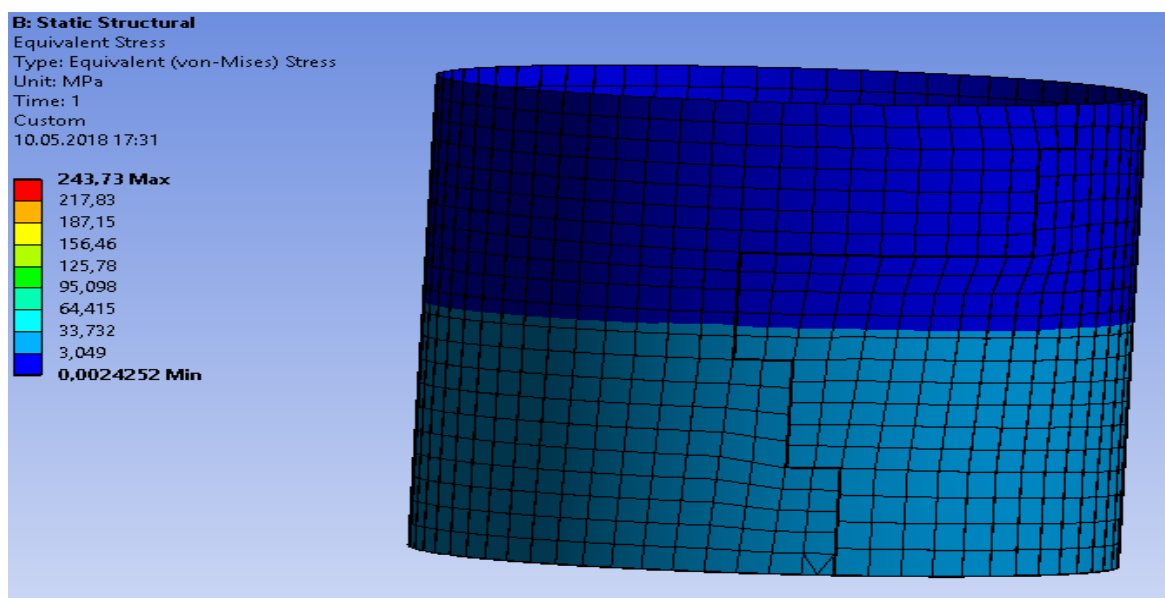
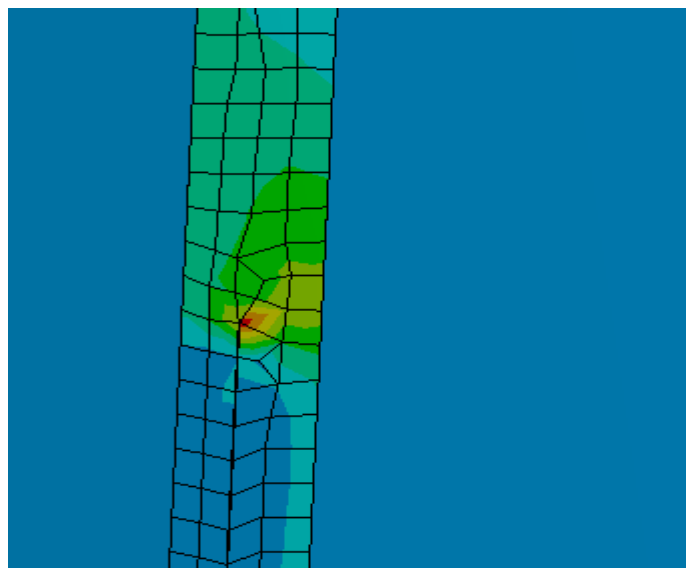
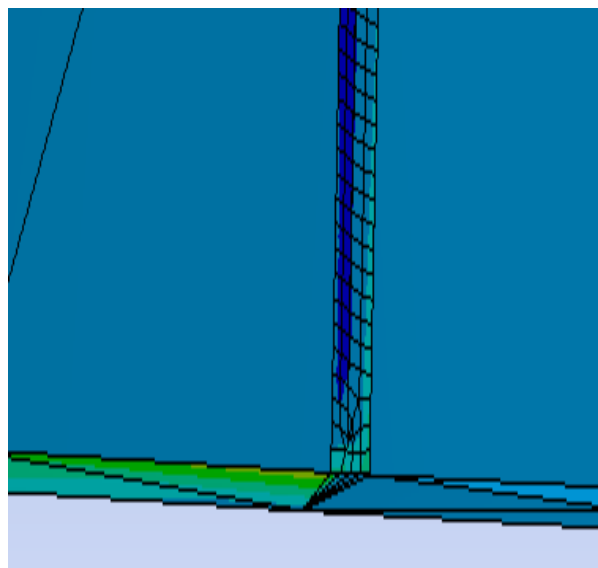


Рис.3.46 – Результати моделювання РВС з пошкодженням у вертикальній частині нижнього поясу зварного шва: навантаження у модулі Static Structural



а)



б)

Рисунок 3.47 – Результати моделювання максимального напруження РВС з пошкодженням у модулі Static Structural: а ) вертикальна частина зварного шва нижній пояс; б) нижня область біля дна РВС;

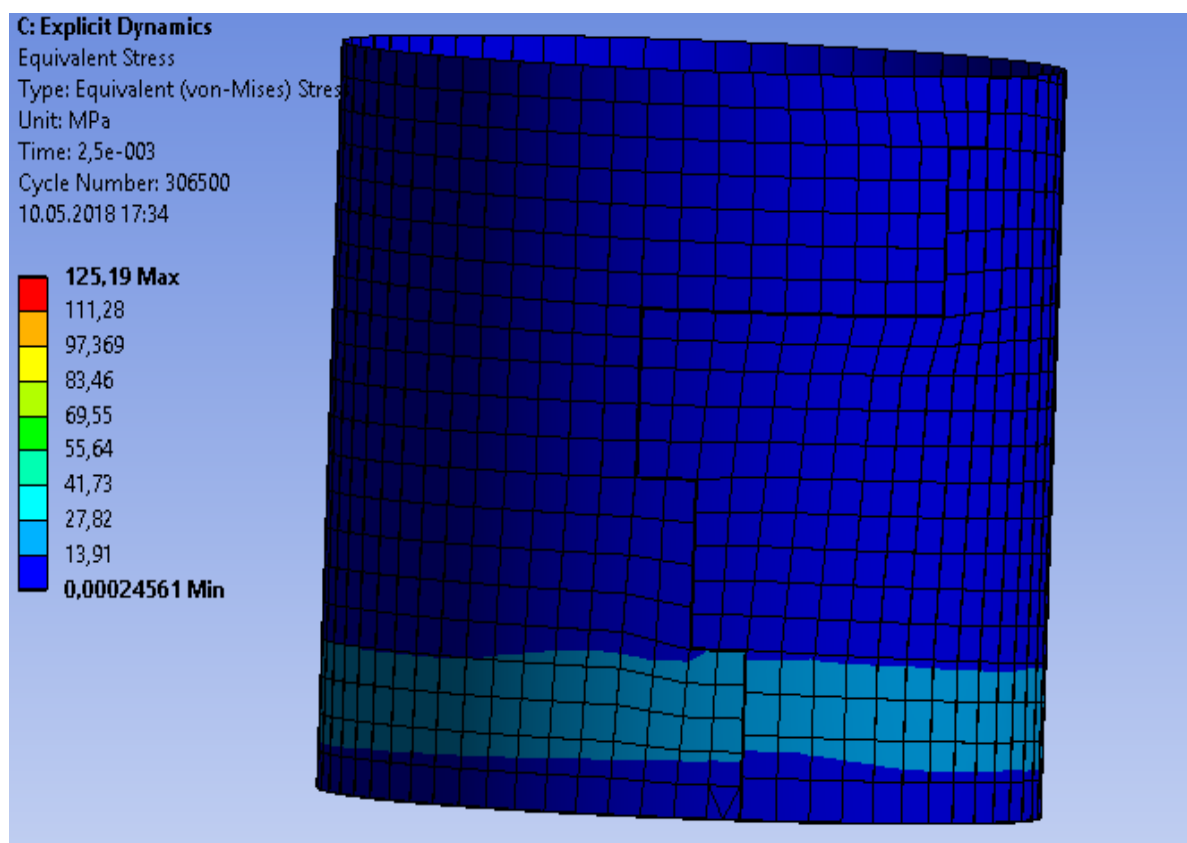
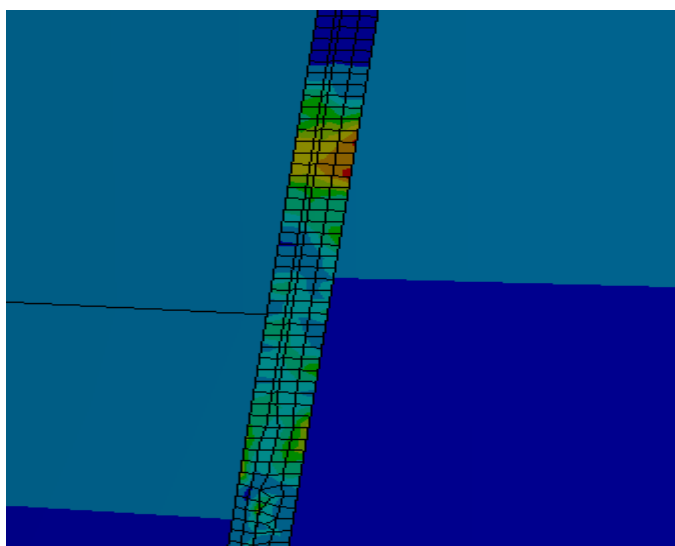
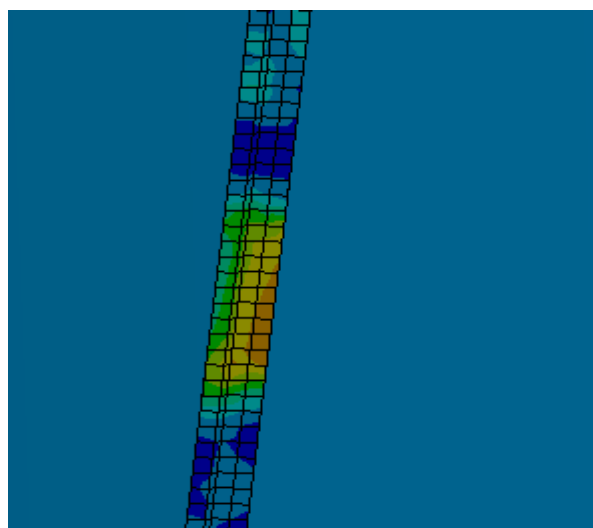


Рис.3.48 – Результати моделювання РВС з пошкодженням у вертикальній частині нижнього поясу зварного шва: навантаження у модулі Explicit Dynamics



а)



б)

Рисунок 3.49 – Результати моделювання максимального напруження РВС з пошкодженням у модулі Explicit Dynamics: а ) вертикальна частина зварного шва нижній пояс; б) нижня область біля дна РВС;

Таблиця 3.7 - Результати моделювання РВС з пошкодженням, у вигляді тріщини: деформація

Порогові значення	Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні деформації, мм	0,50677	0,42192

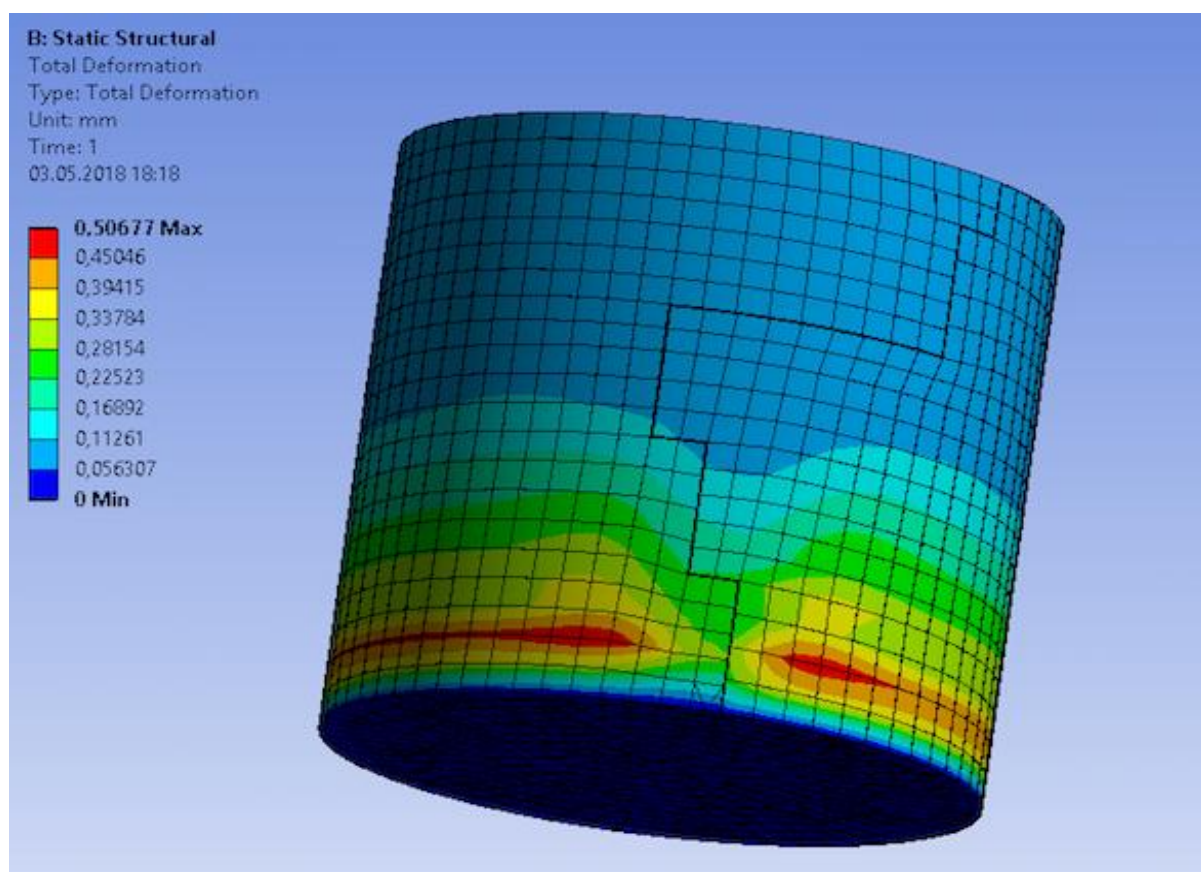


Рис.3.50 – Результати моделювання пошкодження РВС у вертикальній частині нижнього поясу зварного шва: деформація у модулі Static Structural (загальний вигляд)

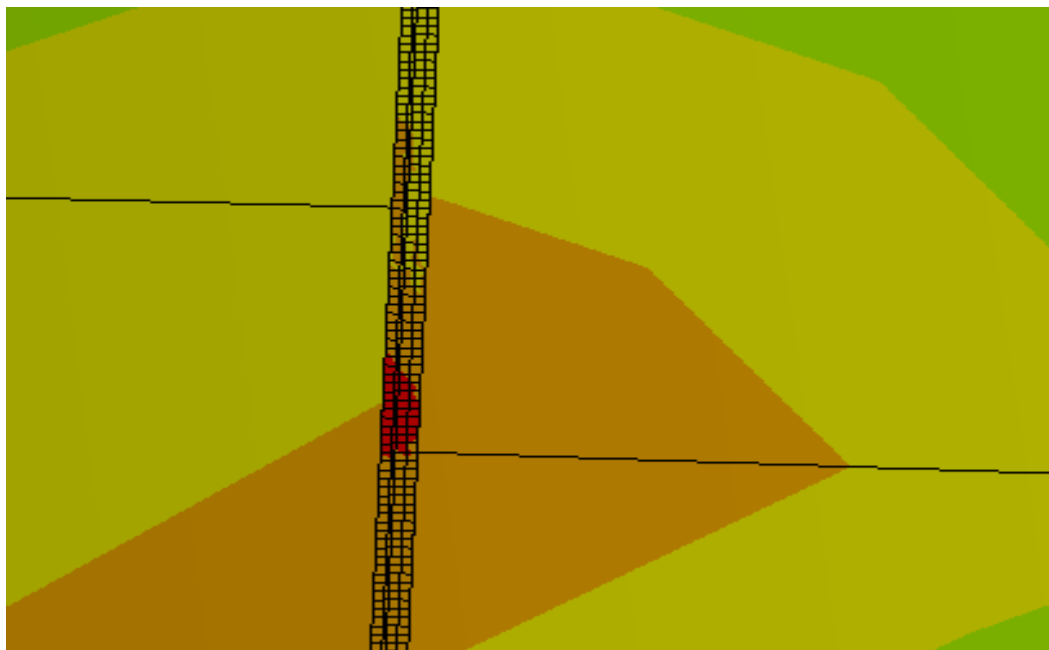


Рисунок 3.51 – Результати моделювання максимальної деформації з пошкодженням у вертикальній частині нижнього поясу зварного шваРВС з пошкодженням у модулі Static Structural: вертикальна частина зварного шва нижній пояс;

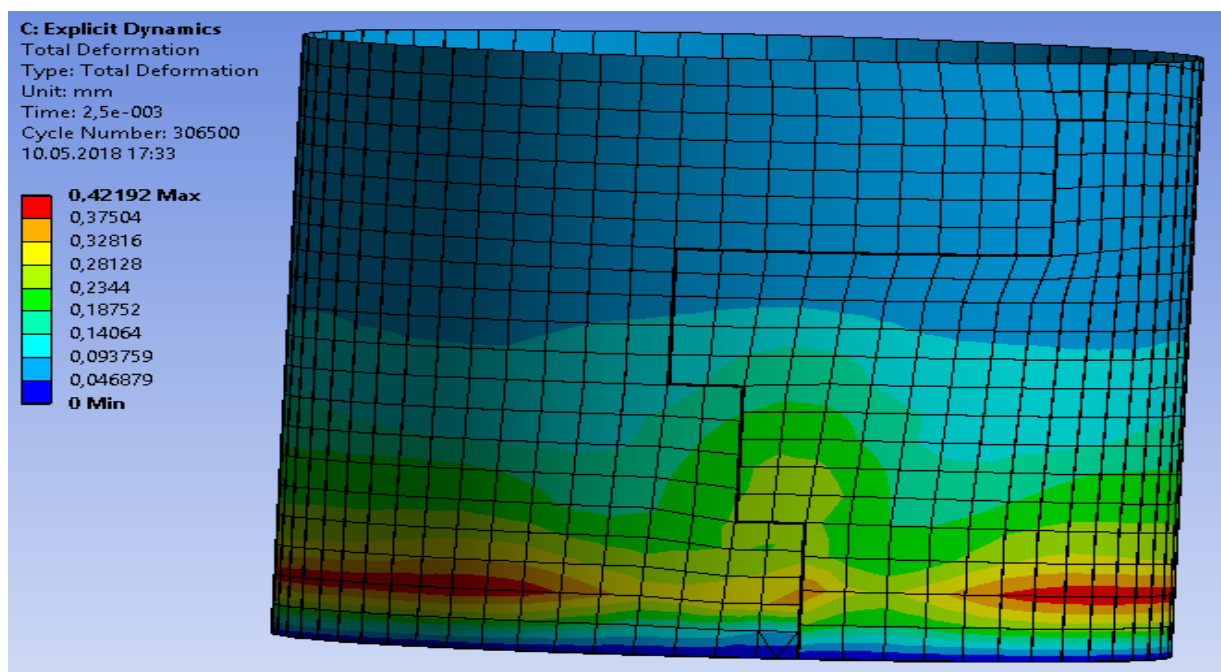


Рис.3.52 – Результати моделювання пошкодження, у вертикальній частині, нижнього поясу, званого шва, РВС: деформації у модулі Explicit Dynamics (загальний вигляд)



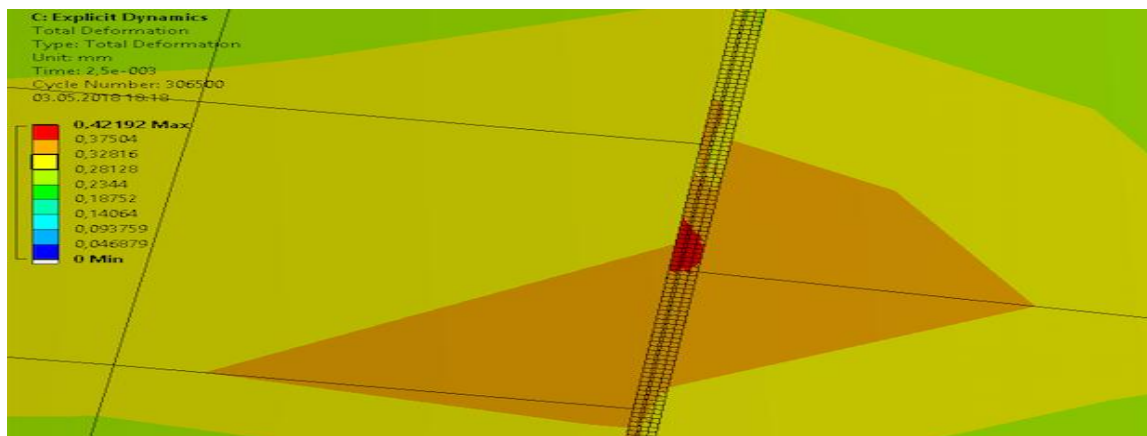


Рис.3.53 – Результати моделювання максимальної деформації пошкодження РВС у модулі Explicit Dynamics: вертикальна частина зварного шва, нижній пояс;

Таблиця 3.8 - Результати моделювання РВС з пошкодженням, у вигляді двох тріщин: еквівалентне напруження

Порогові значення	Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні навантаження, МПа	299,12	82,503
Мінімальні навантаження, МПа	0,00075764	0

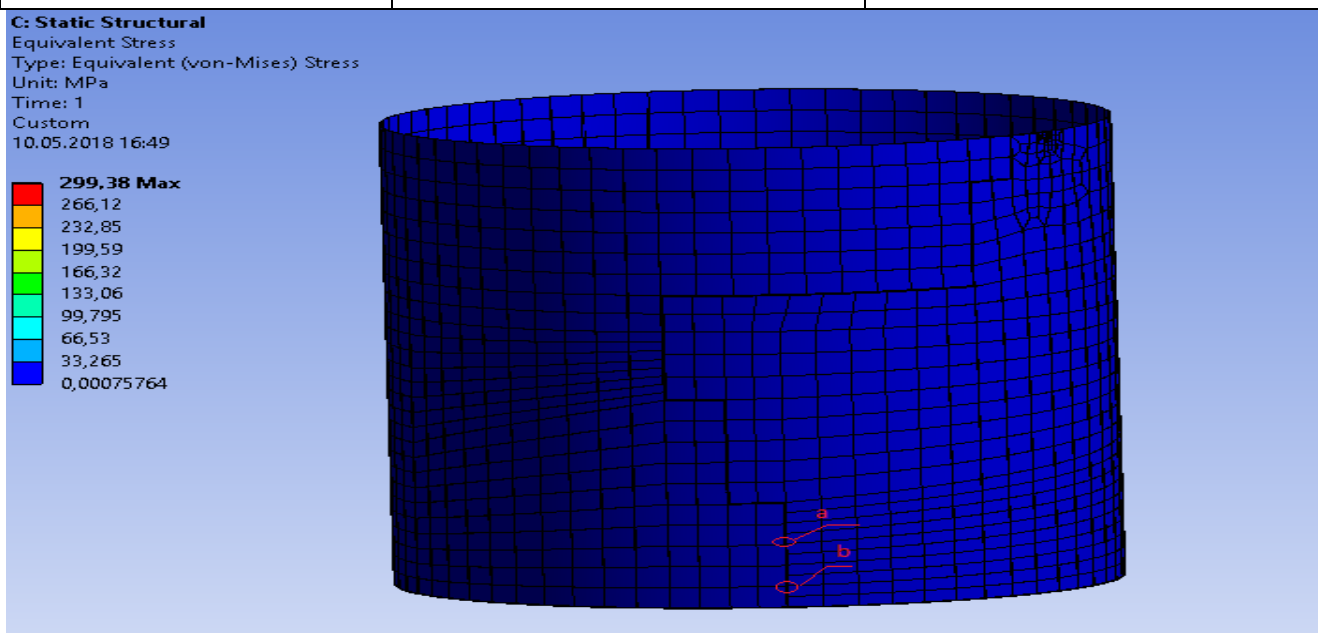




Рисунок 3.54 - Результати моделювання еквівалентного напруження РВС з двома тріщинами, що розміщені у вертикальній частині нижнього поясу зварного шва, у модулі Static Structural (загальний вигляд)

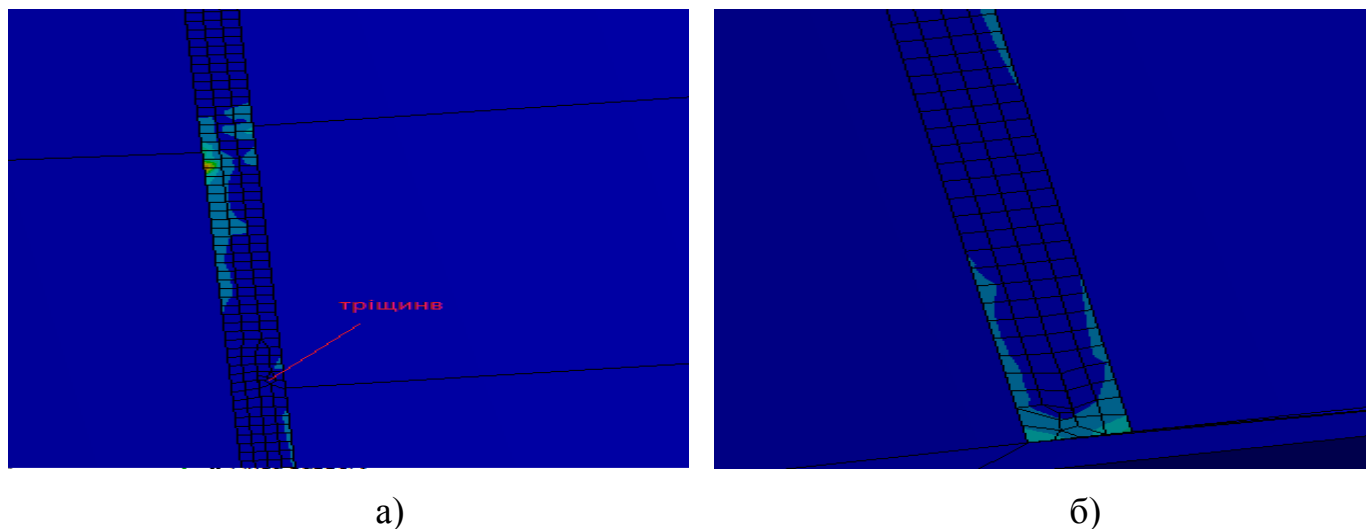


Рисунок 3.55 – Результати моделювання еквівалентного напруження РВС з двома тріщинами, що розміщені у вертикальній частині, нижнього поясу, зварного шва, у модулі Static Structural: а ) область біля тріщини; б) нижня область біля дна РВС;

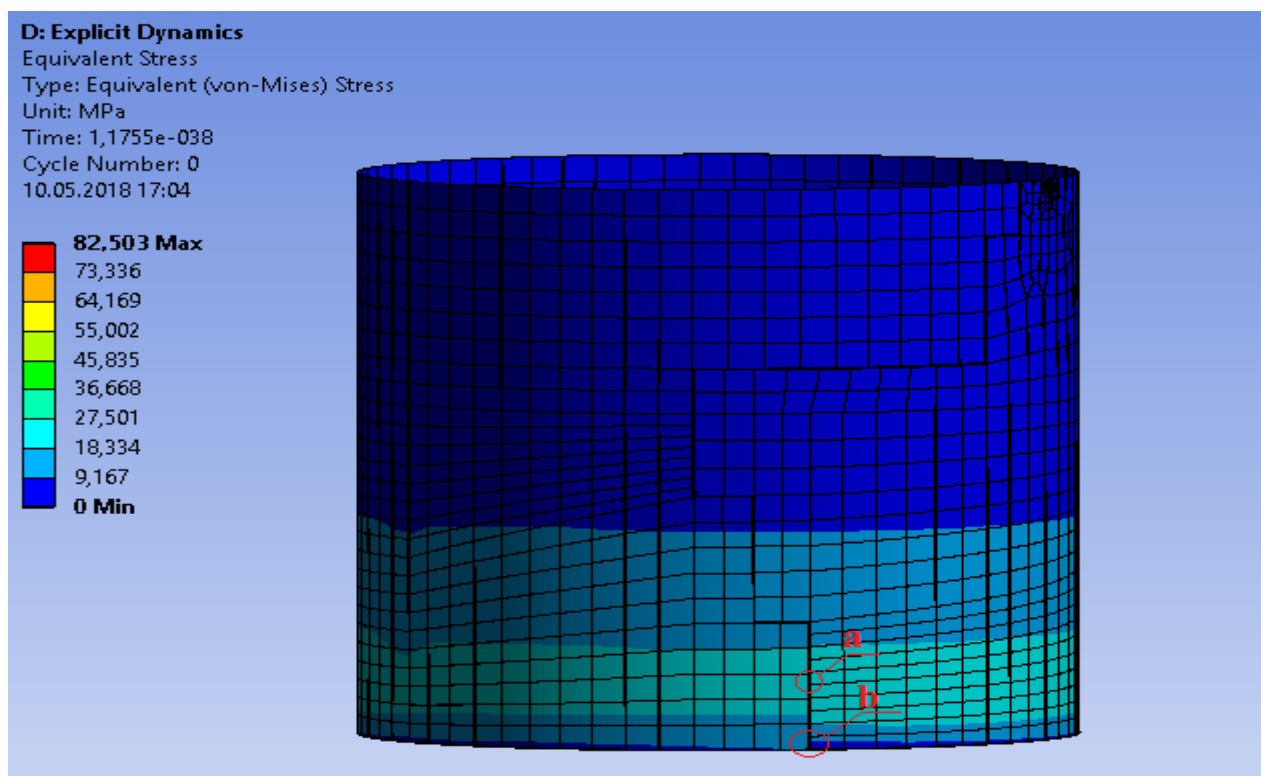


Рисунок 3.56 - Результати моделювання еквівалентного напруження РВС з двома тріщинами, що розміщені у вертикальній частині, нижнього поясу, зварного шва, у модулі Explicit Dynamics (загальний вигляд)

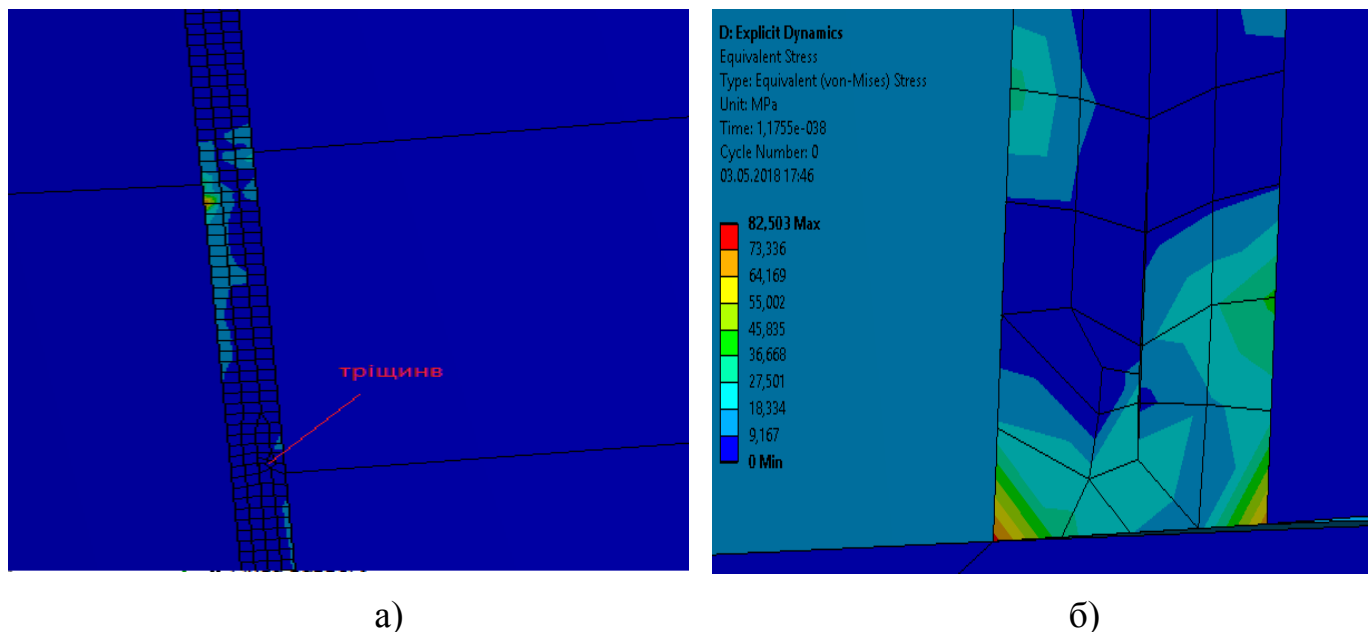


Рисунок 3.57 – Результати моделювання еквівалентного напруження РВС з двома тріщинами, що розміщені у вертикальній частині, нижнього поясу, зварного шва, у модулі Static Structural: а ) область біля тріщини; б) нижня область біля дна РВС;

Таблиця 3.9 - Результати моделювання РВС з пошкодженням, у вигляді двох тріщин: деформація

Порогові значення	Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні деформації, мм	0,50806	0,44838

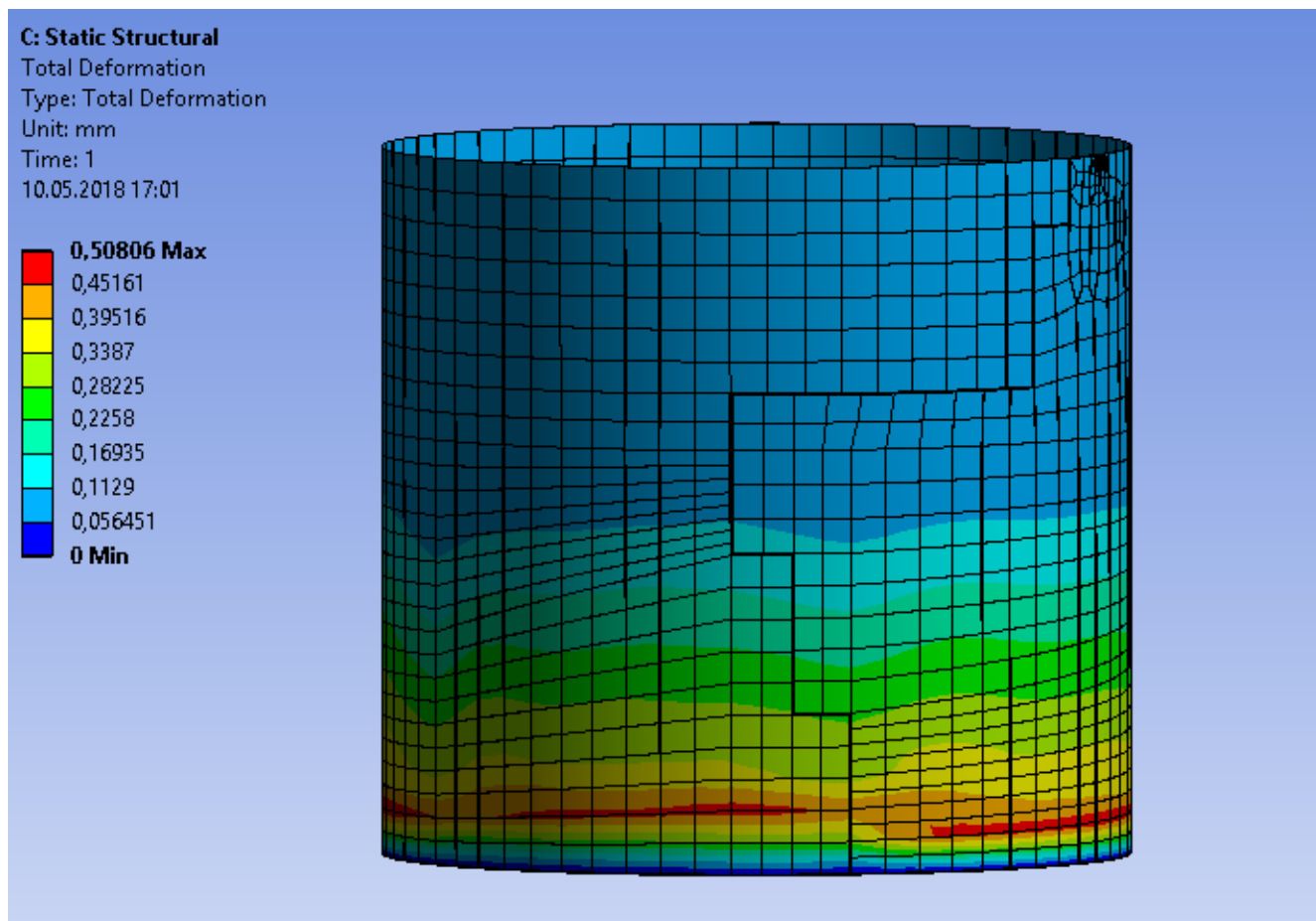


Рисунок 3.58 - Результати моделювання деформації РВС з двома тріщинами, у горизонтальній частині зварного шва, у модулі Static Structural (загальний вигляд)

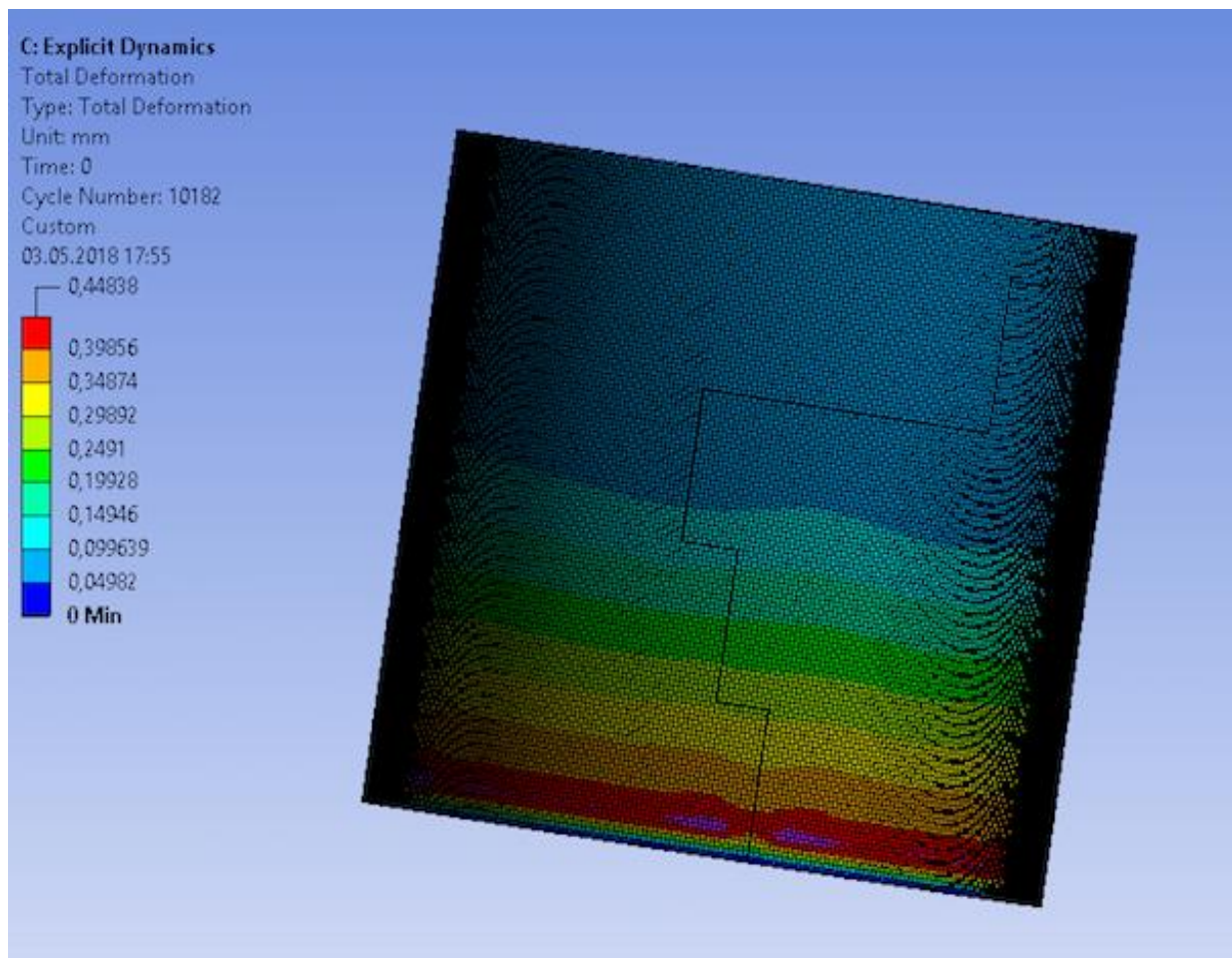


Рисунок 3.59 - Результати моделювання деформації PVC з двома тріщинами, у горизонтальній частині зварного шва, у модулі Explicit Dynamics (загальний вигляд)

Таблиця 3.9 - Результати моделювання PVC з пошкодженням, у вигляді трьох тріщин: еквівалентне напруження

Порогові значення	Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні навантаження, МПа	72,675	178,8
Мінімальні навантаження, МПа	0,0019649	0

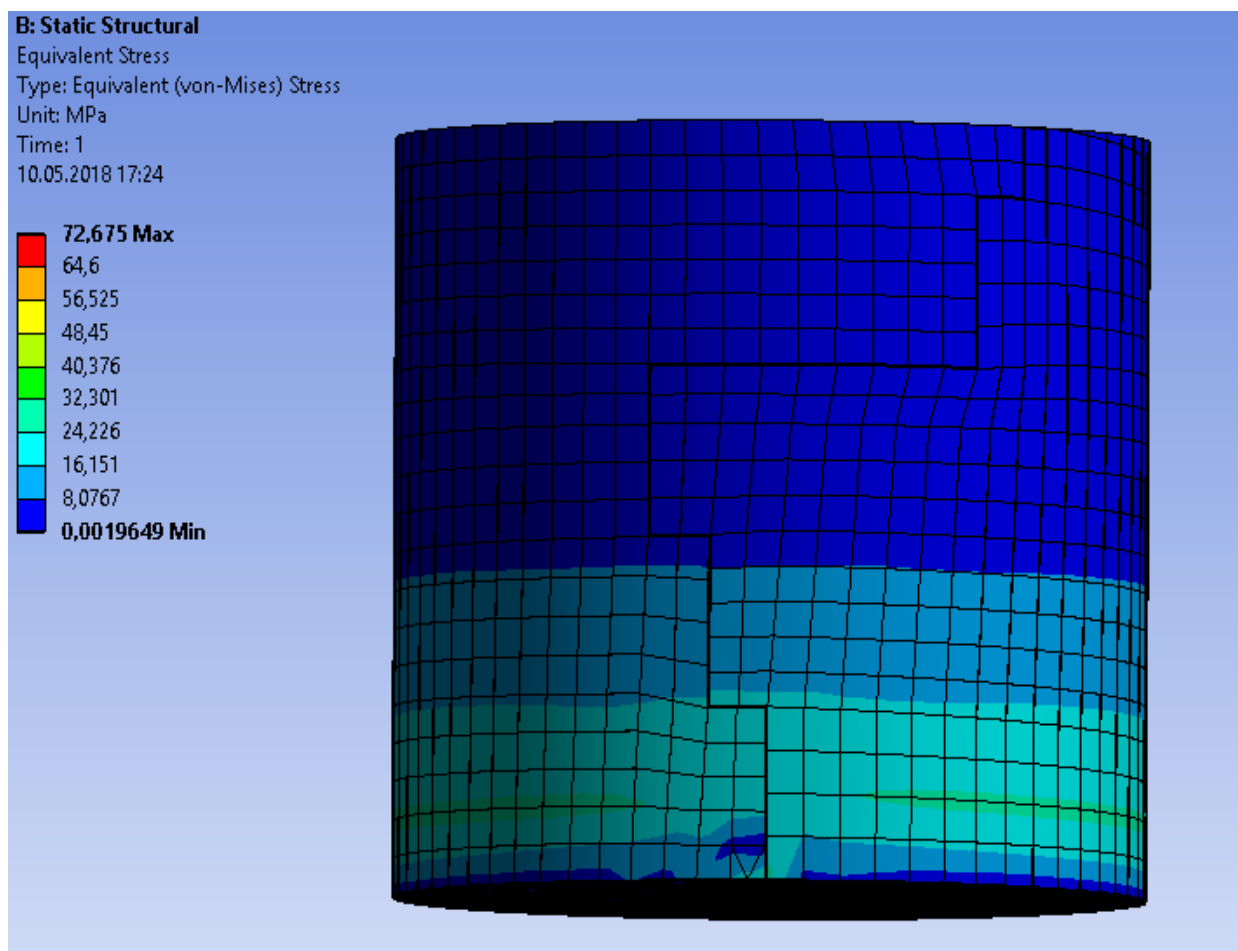


Рисунок 3.60 - Результати моделювання РВС з трьома тріщинами, у горизонтальній частині зварного шва: еквівалентне напруження у модулі Static Structural (загальний вигляд)

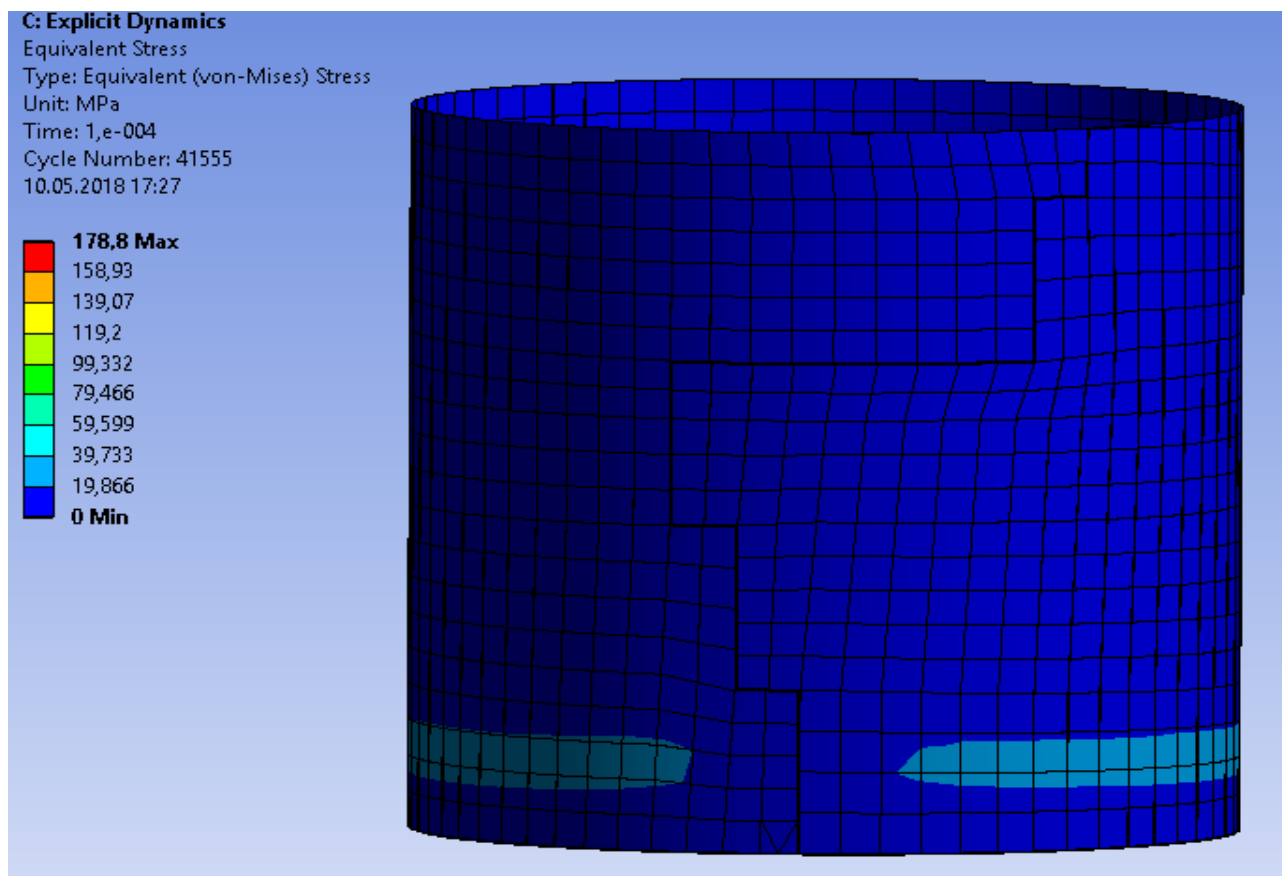


Рисунок 3.61 - Результати моделювання РВС з трьома тріщинами, у горизонтальній частині зварного шва: еквівалентне напруження у модулі Explicit Dynamics (загальний вигляд)

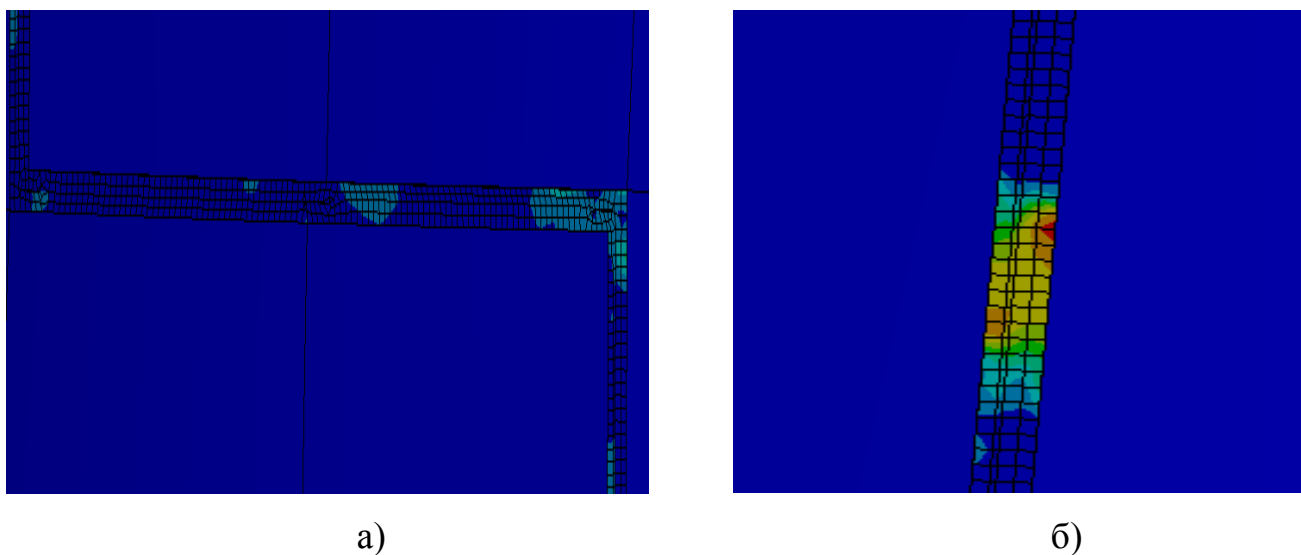


Рисунок 3.62 – Результати моделювання еквівалентного напруження РВС з трьома тріщинами, що розміщені у горизонтальній частині нижнього поясу зварного шва, у модулі Explicit Dynamics: а) область біля тріщин; б) область максимальних

напружень.

Таблиця 3.10 - Результати моделювання РВС з пошкодженням, у вигляді трьох тріщин: деформація

Порогові значення	Статичний аналіз	Аналіз динаміки
Максимальні деформації, мм	0,5184	0,51447

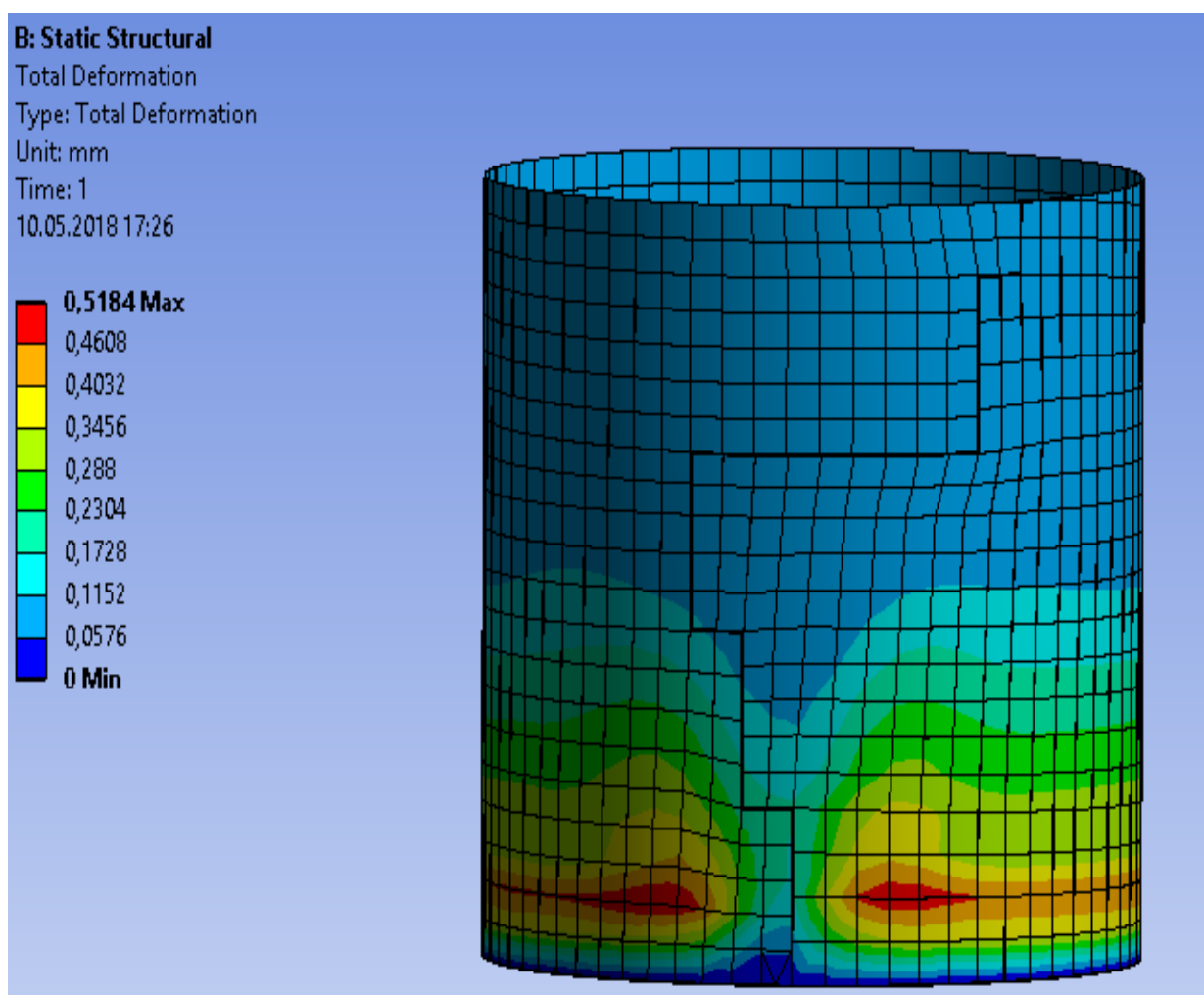


Рис.3.63 – Результати моделювання РВС з трьома тріщинами: деформація в модулі Static Structural

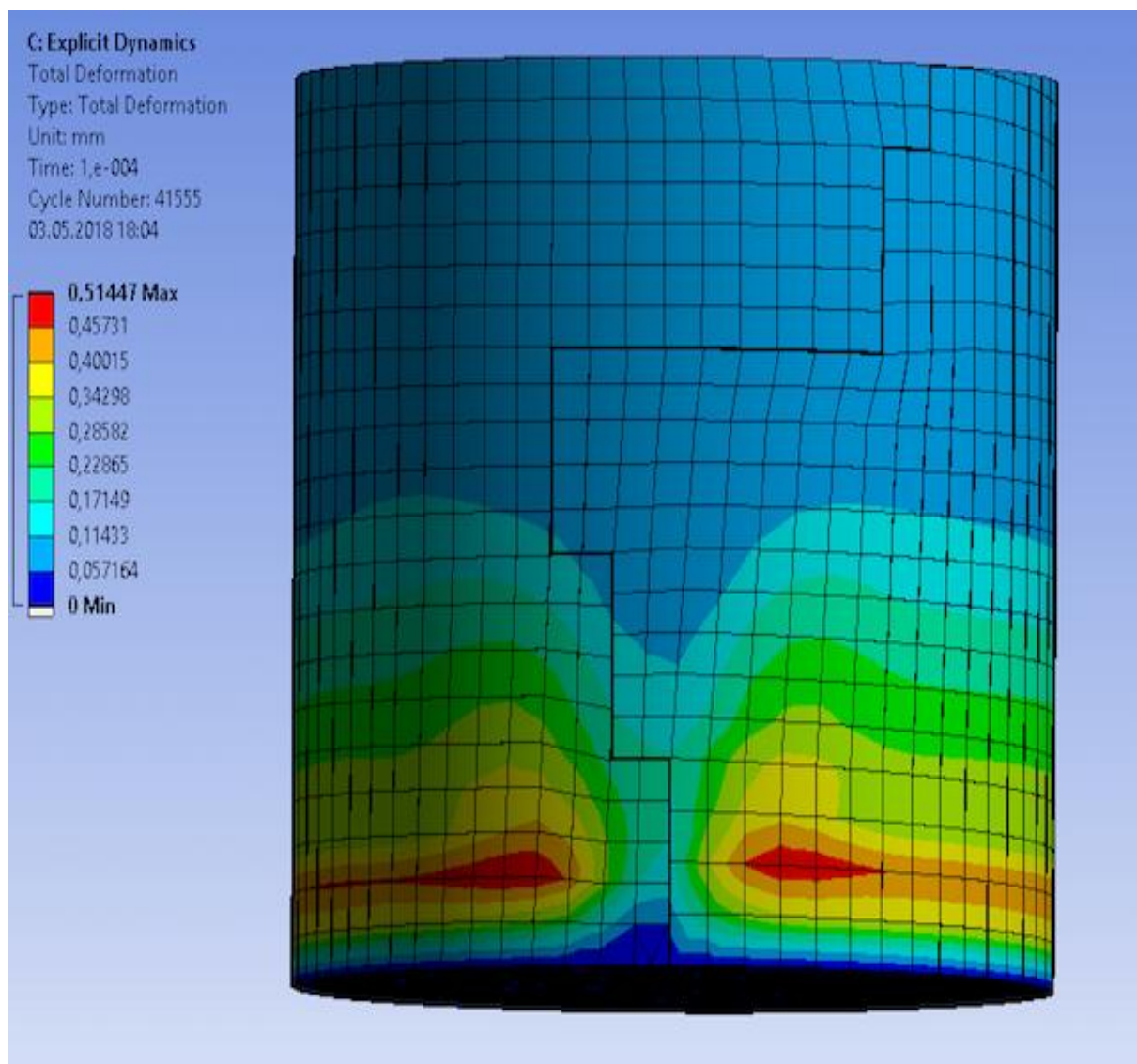


Рис.3.64 – Результати моделювання РВС з трьома тріщинами: деформація в модулі Explicit Dynamics

Виходячи, з умов моделювання резервуару область максимальних деформацій розташована у 1/3 першого кільця резервуару від дна. Таким чином, буде доцільно встановити датчик зняття значень максимальних деформацій саме в цій області для всіх випадків даного дослідження. На рисунку 3.71 зображено область максимальних на деформацій без пошкодження зварювально шва.



### **3.4 Визначення місць встановлення датчиків на резервуарі вертикальному сталевому.**

Для запобігання аварій, на інженерних та будівельних об'єктах, встановлюється особливий контроль над діючими деформаціями та навантаженнями. Одним із основних методів контролю є встановлення датчиків, що виконують постійний нагляд за аварійно небезпечними об'єктами.


Розрізняють наступну класифікацію вимірювальних датчиків [75]:

1. за методом вимірювання;
2. за вимірювальним об'єктом;
3. за принципом дії;
4. за характером вихідного сигналу;
5. за сферою передачі сигналу;
6. за кількістю вхідних величин;
7. за технологією виготовлення.

За принципом дії датчики перетворюють величину контролю в сигнал для передачі інформації, в якості засобу контролю.

Головною метою даного дослідження є виявлення максимальних місць утворення напружень та деформацій для встановлення точок контролю об'єкта.

#### **3.4.1 Методика побудови точок контролю**

За допомогою функції Chart  Chart, ANSYS дозволяє створити графік та таблицю значень за даними величинами, що експортуються з дерева моделі. Для цього зв'язуємо інструмент Chart з обчислювальним методом, це дає змогу експортувати дані напружень або деформацій (рис.3.65).

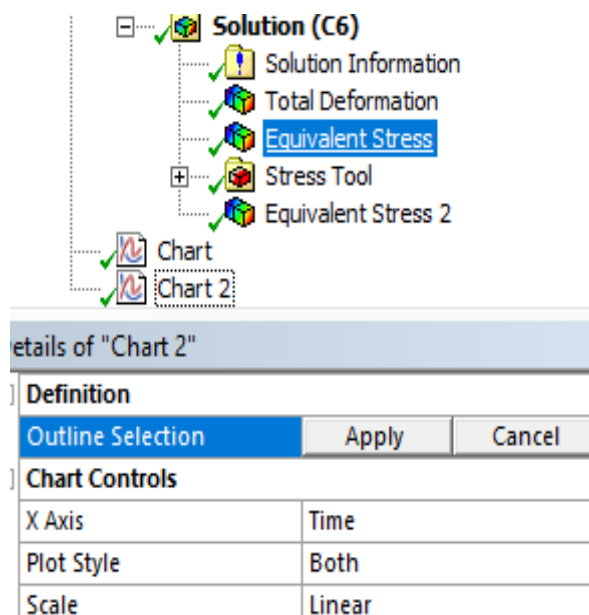


Рисунок 3.65 – Створення зв’язку функції chart з методом обчислювання

Наступним кроком треба очистити історію розрахунку, для цього в дереві моделі треба натиснути правою клавiшею миші по методу обчислювання, та вибрати в панелі меню “Clear Generated Data” (рис.3.66 ).

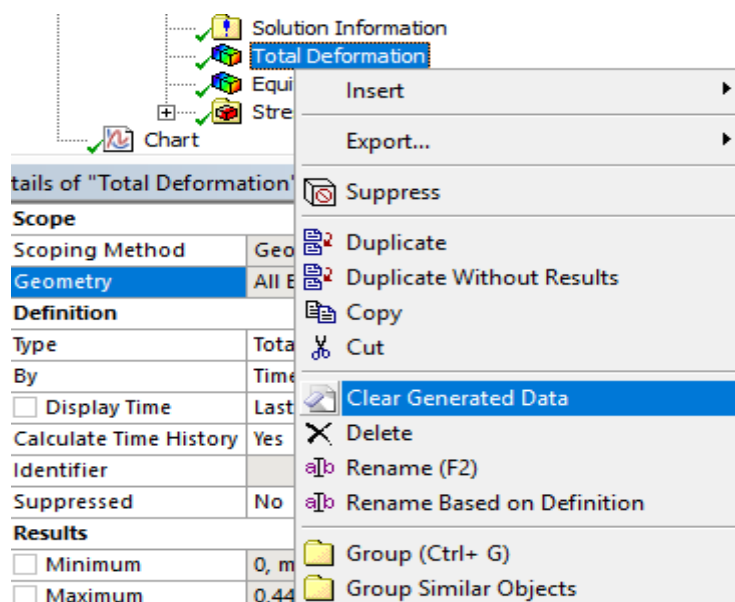



Рисунок 3.66 – Вибір функції очищення історії розрахунку

Далі обираємо області з максимальним ростом напруг та деформацій, в залежності від вибіру методу обчислення. В даному випадку область була обрана у вигляді кінцевих елементів, для цього у панелі інструментів було обрано інструмент , та виділяємо область максимальних напружень або деформацій (рис. 3.67).

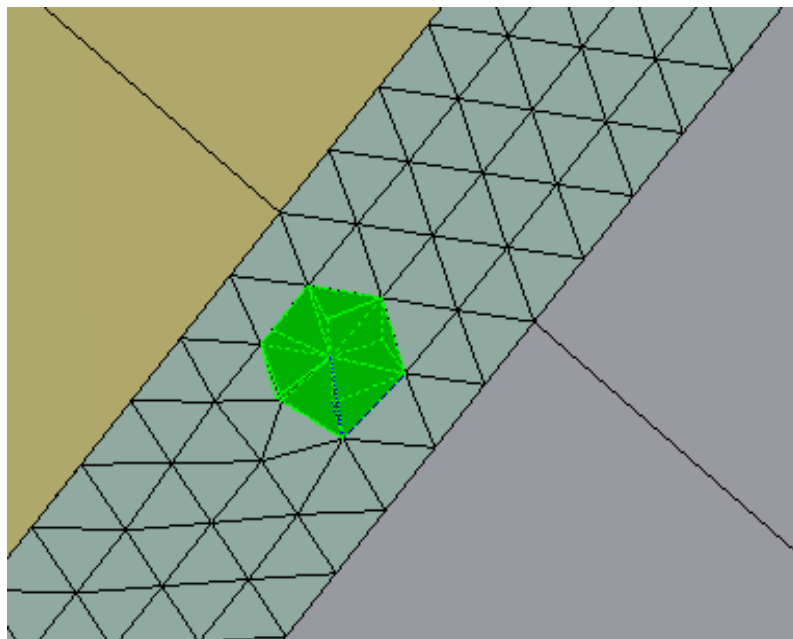


Рисунок 3.67 – Вибір області для встановлення датчиків

Після визначення області встановлення датчиків у командному вікні модуля обчислення натискаємо “Generate” (рис.3.68).

Details of "Equivalent Stress 2"	
[-] <b>Scope</b>	
Scoping Method	Geometry Selection
Geometry	Apply Cancel
[-] <b>Definition</b>	
Type	Equivalent (von-Mises) Stress
By	Time
<input type="checkbox"/> Display Time	Last
Calculate Time History	Yes
Identifier	
Suppressed	No
[-] <b>Integration Point Results</b>	
Display Option	Averaged
Average Across Bodies	No

Рисунок 3.68 – Командне вікно модуля обчислення

Останнім кроком є запуск програми на розрахунок, для цього у дереві моделей оберемо метод обчислення розрахунку, до якого була прив'язана функція chart, натискаємо правою клав'яшею миші та обираємо функцію “Evaluate All Results” (рис.3.69).

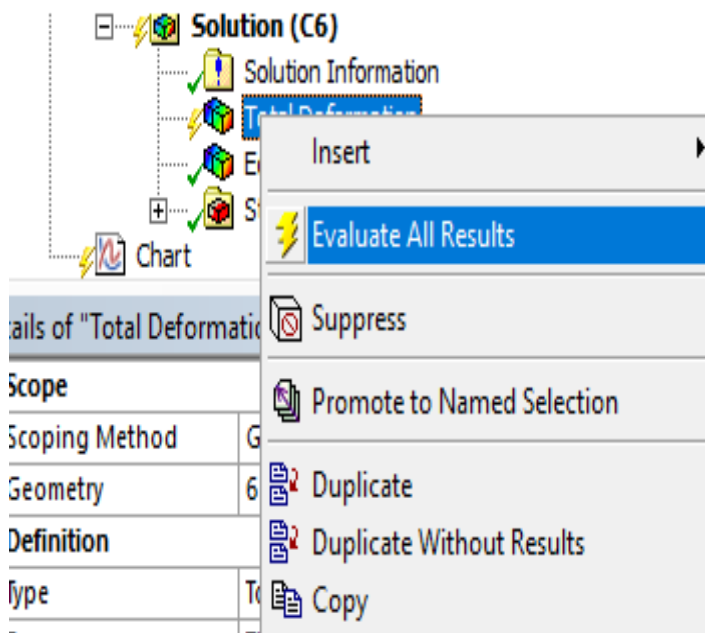


Рисунок 3.69 –Запуск методу обчислення

### 3.4.2 Аналіз результатів при встановленні датчиків методу контролю

Для вибіру області контролю було виконано імітаційне моделювання найбільш максимальних порогових значень навантаження та деформації.

Виходячи з результатів попереднього розрахунку, в залежності від типу пошкодження, відрізняються і області максимальних навантажень. А області деформацій об'єкта розташовані поблизу 1/3 нижньої частини першого кільця резервуару.

Еталонним значенням дослідження було встановлено імітаційне моделювання резервуару без пошкодження, а для порівняння розрахунків було проведено моделювання й РВС з однією та трьома тріщинами.

Як видно з попереднього моделювання найбільші навантаження резервуар без пошкодження відчуває в області на стику зварюваного шва та стінки резервуара бі-

ля дна. Саме тому, цю область було обрано для встановлення датчиків вимірювання (рис.3.70).

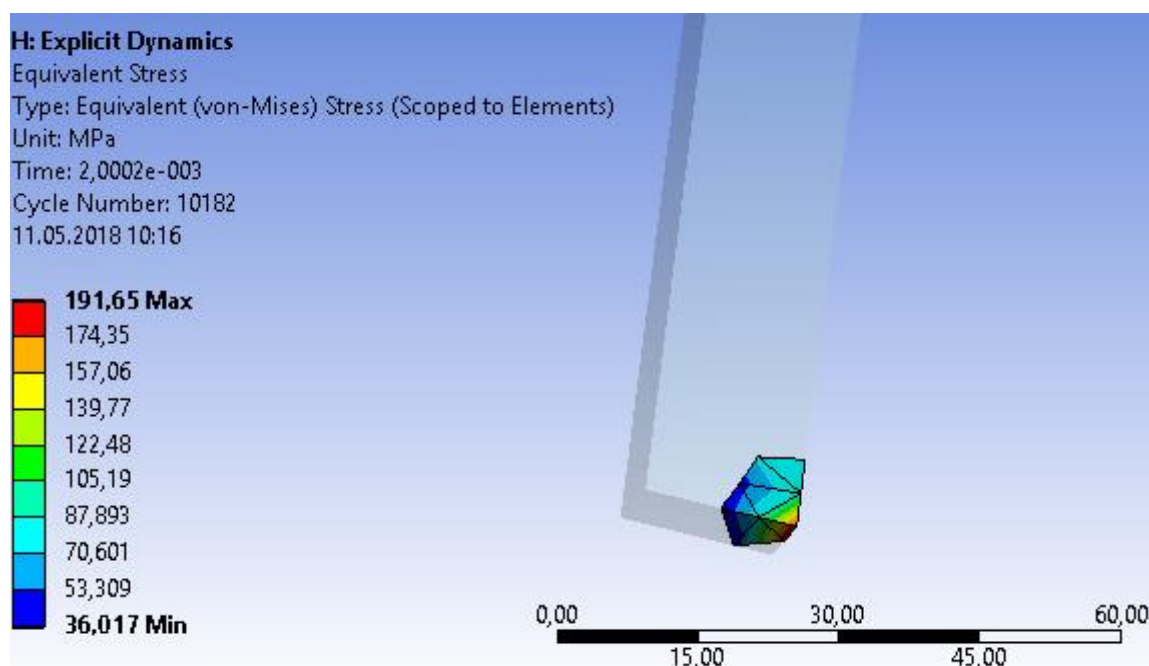


Рисунок 3.70 – Результати моделювання максимально напруженої області для встановлення датчиків

На рисунках 3.72 та 3.73 зображено графіки залежностей напруження та деформацій від часу. Числові данні наведені у таблицях 3.11 – 3.15.

Таблиця 3.11 – Чисельні значення максимальних навантажень РВС без пошкодження при зміні часу

№	Час, с	Мінімальні навантаження, МПа	Максимальні навантаження, МПа
1	$1,1755 \cdot 10^{-38}$	62,451	123,04
2	$1,0005 \cdot 10^{-4}$	5,1185	34,42
3	$2,0006 \cdot 10^{-4}$	2,507	21,563
4	$3,007 \cdot 10^{-4}$	3,1869	16,353
5	$4,0008 \cdot 10^{-4}$	3,0897	17,74
6	$5,0009 \cdot 10^{-4}$	3,8386	24,91
7	$6,001 \cdot 10^{-4}$	3,9481	36,469
8	$7,0011 \cdot 10^{-4}$	4,5742	51,54
9	$8,0012 \cdot 10^{-4}$	4,455	60,253
10	$9,0013 \cdot 10^{-4}$	4,7332	72,248
11	$1,0001 \cdot 10^{-3}$	7,5758	86,264
12	$1,1001 \cdot 10^{-3}$	11,185	97,786
13	$1,2002 \cdot 10^{-3}$	14,94	110,02

14	$1,3002 \cdot 10^{-3}$	18,675	122,94
15	$1,4002 \cdot 10^{-3}$	22,219	135,95
16	$1,5002 \cdot 10^{-3}$	25,514	148,14
17	$1,6002 \cdot 10^{-3}$	28,473	159,7
18	$1,7002 \cdot 10^{-3}$	31,081	170,31

Продовження таблиці 3.11

19	$1,8002 \cdot 10^{-3}$	33,237	179,46
20	$1,9002 \cdot 10^{-3}$	34,902	186,74
21	$2,0002 \cdot 10^{-3}$	36,017	191,65

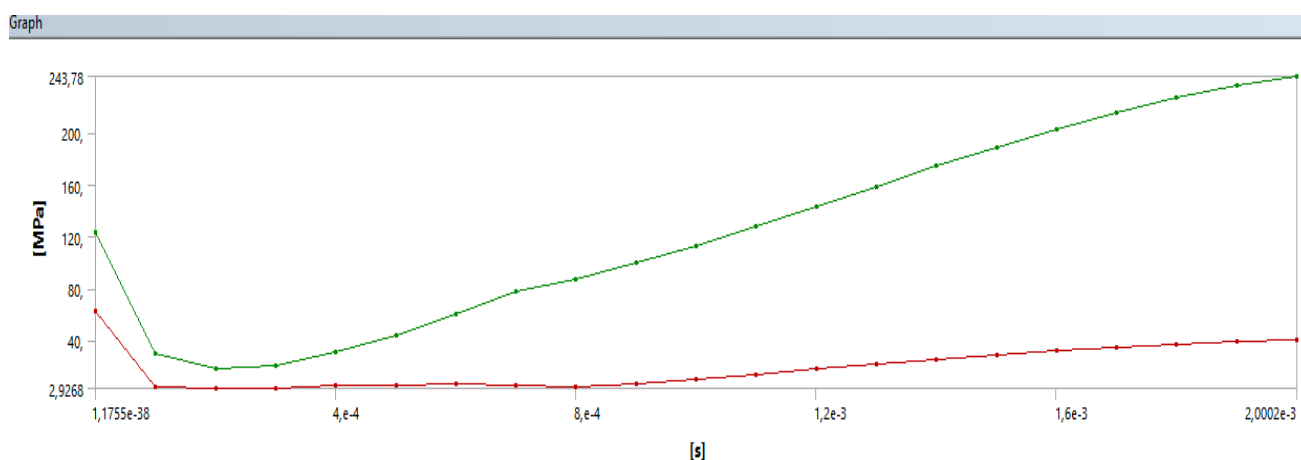


Рисунок 3.72 – Графік залежності навантаження від часу циклічного навантаження у резервуарі без пошкодження

Виходячи, з умов моделювання резервуару область максимальних деформацій розташована у 1/3 першого кільця резервуару від дна. Таким чином, буде доцільно встановити датчик зняття значень максимальних деформацій саме в цій області для всіх випадків даного дослідження. На рисунку 3.71 зображено область максимальних на деформацій без пошкодження зварювально шва.

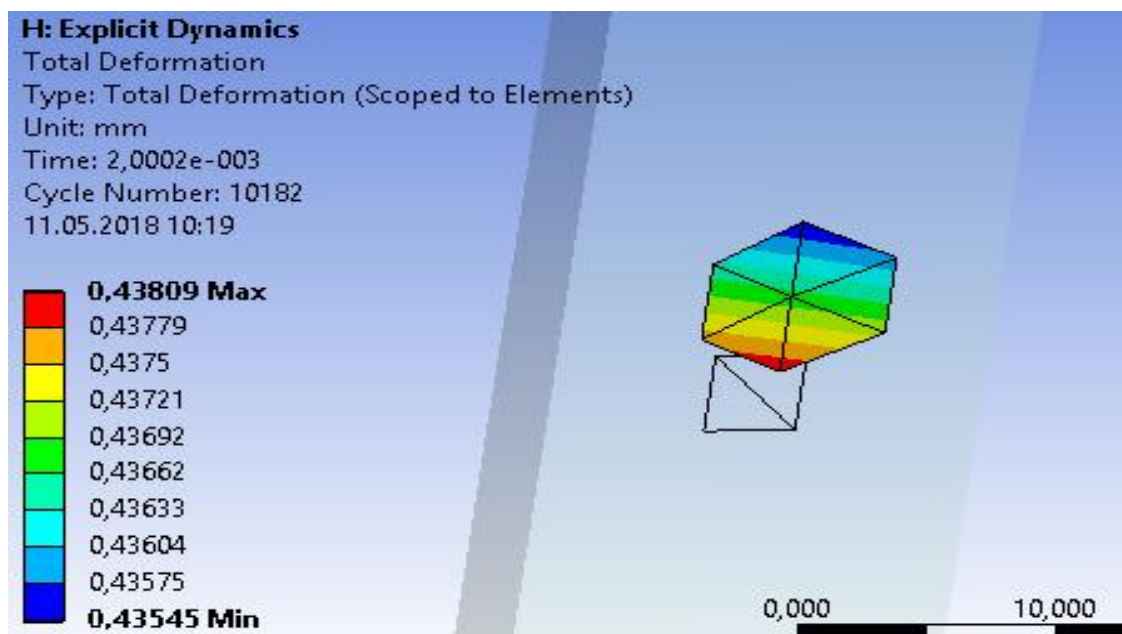


Рисунок 3.71 – Область максимальних деформацій без пошкодження

Таблиця 3.12 – Чисельні значення максимальних деформацій РВС  
без пошкодження при зміні часу

№	Час, с	Мінімальні навантаження, МПа	Максимальні навантаження, МПа
1	$1,1755 \cdot 10^{-38}$	0,41062	0,41121
2	$1,0005 \cdot 10^{-4}$	0,40636	0,40691
3	$2,0006 \cdot 10^{-4}$	0,39323	0,3937
4	$3,007 \cdot 10^{-4}$	0,37135	0,37177
5	$4,0008 \cdot 10^{-4}$	0,34143	0,34174
6	$5,0009 \cdot 10^{-4}$	0,30404	0,30435
7	$6,001 \cdot 10^{-4}$	0,25995	0,26036
8	$7,0011 \cdot 10^{-4}$	0,21005	0,21067
9	$8,0012 \cdot 10^{-4}$	0,15532	0,15628
10	$9,0013 \cdot 10^{-4}$	$9 \cdot 10^{-2}$	$9,8395 \cdot 10^{-2}$
11	$1,0001 \cdot 10^{-3}$	$3,7245 \cdot 10^{-2}$	$3,9173 \cdot 10^{-2}$
12	$1,1001 \cdot 10^{-3}$	$2,8331 \cdot 10^{-2}$	$3,0055 \cdot 10^{-2}$
13	$1,2002 \cdot 10^{-3}$	$8,7834 \cdot 10^{-2}$	$9,0114 \cdot 10^{-2}$
14	$1,3002 \cdot 10^{-3}$	0,14781	0,15037
15	$1,4002 \cdot 10^{-3}$	0,2031	0,20807
16	$1,5002 \cdot 10^{-3}$	0,25903	0,26193
17	$1,6002 \cdot 10^{-3}$	0,30781	0,31079
18	$1,7002 \cdot 10^{-3}$	0,35064	0,35365
19	$1,8002 \cdot 10^{-3}$	0,38665	0,38961
20	$1,9002 \cdot 10^{-3}$	0,41512	0,41795
21	$2,0002 \cdot 10^{-3}$	0,43545	0,43809

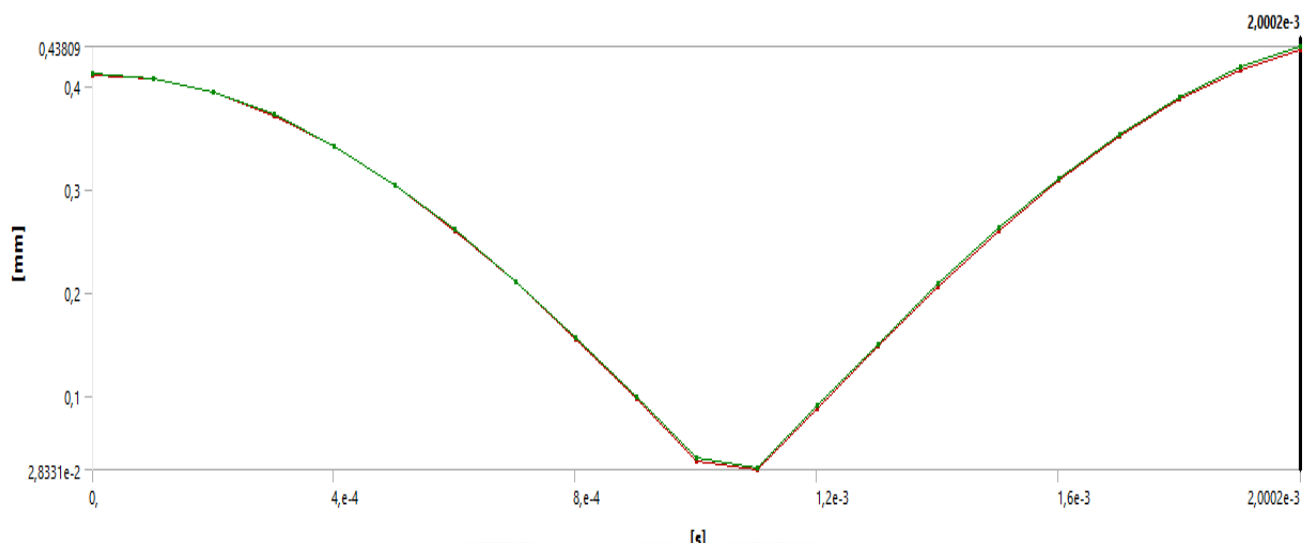


Рисунок 3.73 – Графік залежності деформацій від часу циклічного навантаження у резервуарі без пошкодження

При розгляді максимальних напружень РВС з пошкодженням було обрано дві області для встановлення датчиків інформації:

1. зона збільшення тріщини;
2. зона максимально виражених напружень.

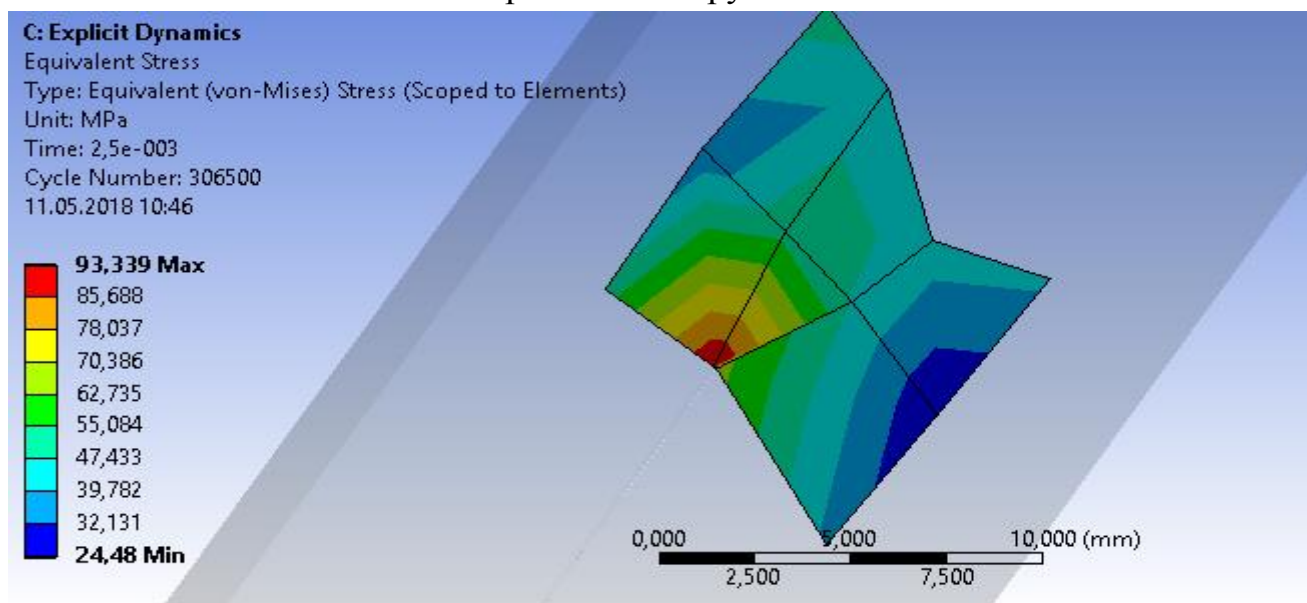


Рисунок 3.74 – Результати моделювання максимально напруженої області біля пошкодження для встановлення датчиків

Таблиця 3.13 – Чисельні значення максимальних напружень біля пошкодження при зміні часу



№	Час, с	Мінімальні навантаження, МПа	Максимальні навантаження, МПа
1	$1,1755 \cdot 10^{-38}$	57,812	134,35
2	$1,25 \cdot 10^{-4}$	26,758	67,737
3	$2,5 \cdot 10^{-4}$	27,593	73,733
4	$3,7501 \cdot 10^{-4}$	24,207	62,975
5	$5,0001 \cdot 10^{-4}$	20,822	51,799
6	$6,2501 \cdot 10^{-4}$	18,742	43,647
7	$7,5 \cdot 10^{-4}$	15,562	33,692
8	$8,75 \cdot 10^{-4}$	11,367	25,071
9	$1 \cdot 10^{-3}$	8,2296	20,051
10	$1,125 \cdot 10^{-3}$	10,156	22,266
11	$1,25 \cdot 10^{-3}$	10,643	30,621
12	$1,375 \cdot 10^{-3}$	12,113	39,203
13	$1,5 \cdot 10^{-3}$	10,288	44,039
14	$1,625 \cdot 10^{-3}$	8,2889	50,907
15	$1,75 \cdot 10^{-3}$	8,2575	54,456
16	$1,875 \cdot 10^{-3}$	12,427	56,207
17	$2 \cdot 10^{-3}$	12,855	66,684
18	$2,125 \cdot 10^{-3}$	13,033	76,529
19	$2,25 \cdot 10^{-3}$	19,797	86,57

Продовження таблиці 3.13

20	$2,375 \cdot 10^{-3}$	19,977	92972
21	$2,5 \cdot 10^{-3}$	24,48	93,339

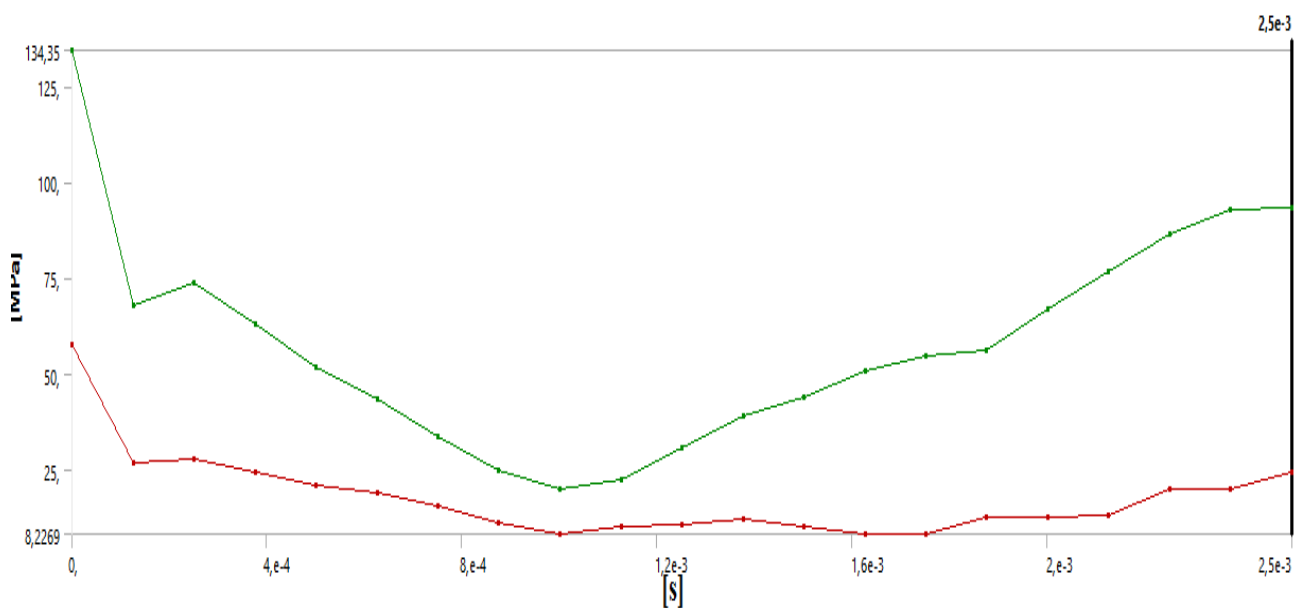


Рисунок 3.75 – Графік залежності навантаження від часу циклічного навантаження у резервуарі з пошкодженням

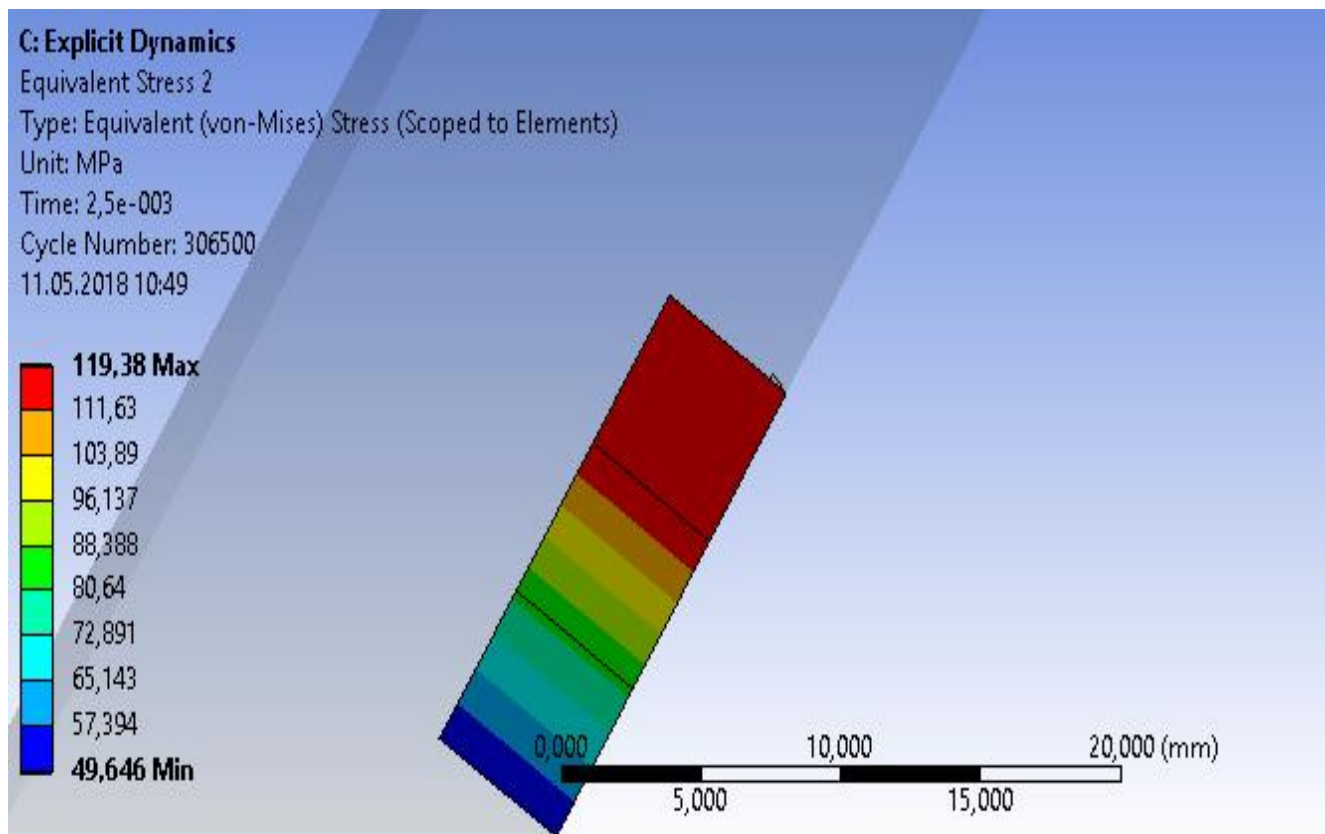


Рисунок 3.76 – Результати моделювання максимально напруженої області, РВС з пошкодженням, для встановлення датчиків.

Таблиця 3.14 – Чисельні значення максимальних деформацій

РВС з пошкодженням при зміні часу

№	Час, с	Мінімальні навантаження, МПа	Максимальні навантаження, МПа
1	$1,1755 \cdot 10^{-38}$	24,208	27,222
2	$1,25 \cdot 10^{-4}$	310,03	500,01
3	$2,5 \cdot 10^{-4}$	335,07	565,47
4	$3,7501 \cdot 10^{-4}$	310,13	547,74
5	$5,0001 \cdot 10^{-4}$	255,11	472,63
6	$6,2501 \cdot 10^{-4}$	207,67	399,29
7	$7,5 \cdot 10^{-4}$	161,83	322,75
8	$8,75 \cdot 10^{-4}$	113,57	237,03
9	$1 \cdot 10^{-3}$	62,617	145,84
10	$1,125 \cdot 10^{-3}$	16,245	52,993
11	$1,25 \cdot 10^{-3}$	29,124	32,961
12	$1,375 \cdot 10^{-3}$	40,517	59,484
13	$1,5 \cdot 10^{-3}$	34,129	65,963
14	$1,625 \cdot 10^{-3}$	29,732	73,208

15	$1,75 \cdot 10^{-3}$	29,645	79,874
16	$1,875 \cdot 10^{-3}$	32,597	84,427
17	$2 \cdot 10^{-3}$	37,672	98,635
18	$2,125 \cdot 10^{-3}$	40,786	105,74
19	$2,25 \cdot 10^{-3}$	43,377	113,51
20	$2,375 \cdot 10^{-3}$	48,185	122,89
21	$2,5 \cdot 10^{-3}$	49,646	119,38

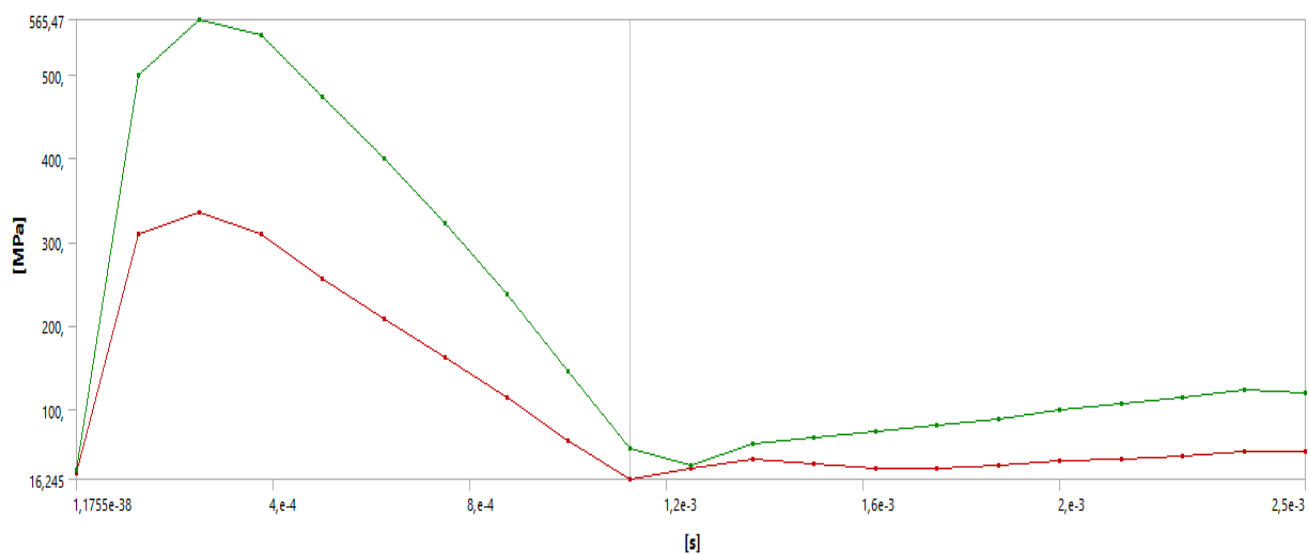


Рисунок 3.77 – Графік залежності навантаження від часу циклічного навантаження  
РВС з пошкодженням у максимально напруженій області

Встановлення датчиків для РВС з трьома тріщинами

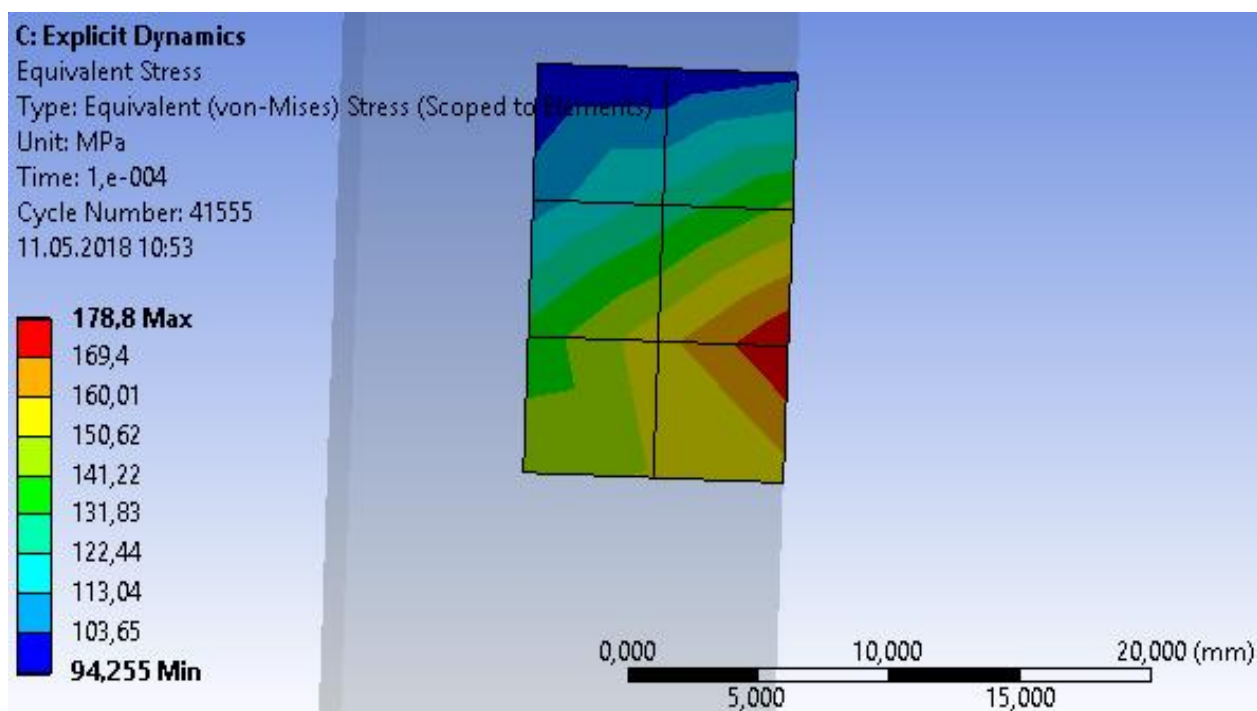


Рисунок 3.78 – Результати моделювання максимально напруженої області,  
РВС з трьома пошкодженнями, для встановлення датчиків

Таблиця 3.15 – Чисельні значення максимальних деформацій  
РВС з трьома пошкодженням при зміні часу

№	Час, с	Мінімальні навантаження, МПа	Максимальні навантаження, МПа
1	$1,1755 \cdot 10^{-38}$	6,586	8,1962
2	$5,0014 \cdot 10^{-6}$	9,1258	11,04

Продовження таблиці 3.15

3	$1,0002 \cdot 10^{-5}$	16,419	19,35
4	$1,5001 \cdot 10^{-5}$	24,249	33,84
5	$2,0002 \cdot 10^{-5}$	33,818	52,005
6	$2,5 \cdot 10^{-5}$	46,212	70,447
7	$3,0001 \cdot 10^{-5}$	58,034	89,813
8	$3,5002 \cdot 10^{-5}$	66,776	108,83
9	$4 \cdot 10^{-5}$	73,483	124,7
10	$4,5001 \cdot 10^{-5}$	80,124	138,38
11	$5,0002 \cdot 10^{-5}$	85,045	149,45
12	$5,5 \cdot 10^{-5}$	88,263	158,39
13	$6,0001 \cdot 10^{-5}$	90,549	165,09
14	$6,5002 \cdot 10^{-5}$	92,43	169,91
15	$7 \cdot 10^{-5}$	93,233	173,08
16	$7,5001 \cdot 10^{-5}$	93,225	174,94
17	$8,0002 \cdot 10^{-5}$	92,983	175,76
18	$8,5001 \cdot 10^{-5}$	92,648	176
19	$9,0001 \cdot 10^{-5}$	92,574	176,33
20	$9,5002 \cdot 10^{-5}$	93,02	177,2
21	$1 \cdot 10^{-5}$	94,255	178,8

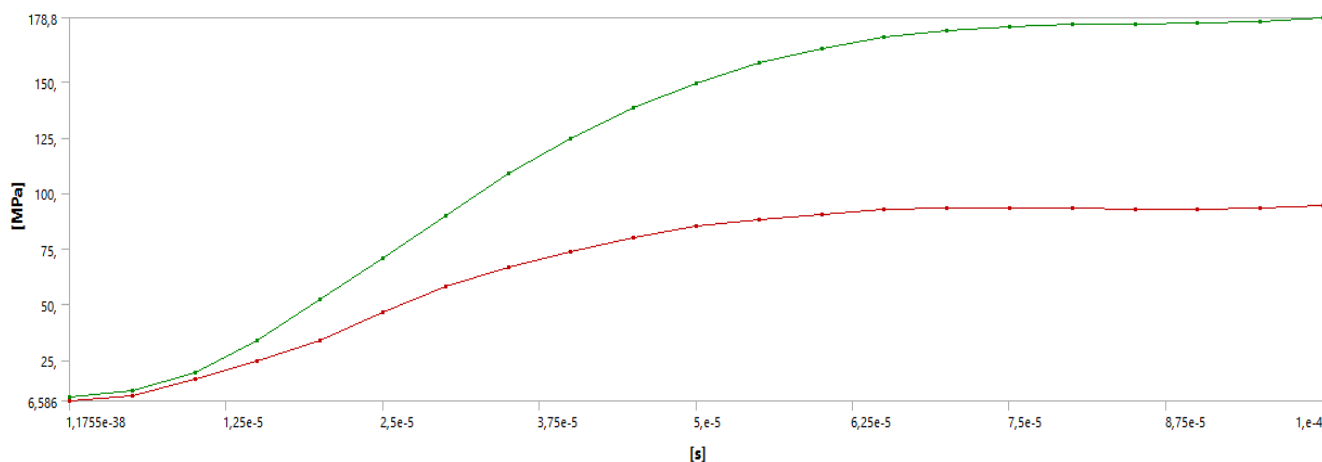


Рисунок 3.79 – Графік залежності навантаження від часу циклічного навантаження  
РВС з трьома пошкодженням у максимально напруженій області

### ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Для досягнення поставленої мети проведено імітаційне моделювання, у ході якого отримано наступні результати:

1. На прикладі плоскої прямокутної пластини показано методику проведення імітаційного моделювання з руйнуванням об'єкта.

2. У якості навантаження обрано вагу речовини, яка зберігається в резервуарі.

3. Визначено зони найбільших напружень та деформацій в непошкодженному стані для порівняння з подальшими результатами.

4. Проведено імітаційне моделювання з пошкодженням вертикальної частини зварного шва у вигляді наскрізної тріщини (початок біля уторного шва, довжина тріщини 500мм, ширина тріщини 0,1мм). Отримано відповідні поля напружень та деформацій.

5. Проведено імітаційне моделювання з пошкодженням вертикальної частини зварного шва у вигляді двох наскрізних тріщини (довжина кожної тріщини 15мм, ширина тріщин 0,1мм), розташованих біля уторного шва та в зоні найбільших деформацій. Отримано відповідні поля напружень та деформацій.

6. Проведено імітаційне моделювання з пошкодженням горизонтальної частини зварного шва у вигляді трьох наскрізних тріщини (довжина кожної тріщини 15мм, ширина тріщин 0,1мм), розташованих у зоні найбільших навантажень по краях та у центрі зварного шва. Отримано відповідні поля напружень та деформацій.

7. Показано, що наявність багатоосередкового пошкодження у вигляді тріщин з заданими параметрами не призводить до руйнування резервуара при його циклічному навантаженні.

## РОЗДІЛ 4

### РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ “ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БА- ГАТООСЕРЕДКОВОГО ПОШКОДЖЕННЯ СТАЛЕВОГО РЕЗЕРВУАРА”

Розроблення та виведення стартап-проекту на ринок передбачає здійснення низки кроків, в межах яких визначають ринкові перспективи проекту, графік та принципи організації виробництва, фінансовий аналіз та аналіз ризиків і заходи з просування пропозиції для інвесторів.

Метою розділу є формування інноваційного мислення, підприємницького духу та формування здатностей щодо оцінювання ринкових перспектив і можливостей комерціалізації основних науково-технічних розробок, сформованих у попередній частині магістерської дисертації у вигляді розроблення концепції стартап-проекту в умовах висококонкурентної ринкової економіки глобалізаційних процесів.

Завдання розділу полягає в маркетинговому аналізі перспектив реалізації науково-технічних рішень та пропозицій, оцінювання можливостей їх ринкового впровадження

#### 4.1 Опис ідеї проекту

В таблиці 4.1 наведено цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Можливість проведення імітаційного моделювання інженерних розрахунків у різних областях науки та техніки	Промисловість	Зменшення витрат на виготовлення Визначення норми напружень та терміну придатності Збільшення нормативного терміну

Продовження таблиці 4.1

	Медицина	Збільшення нормативного терміну Зменшення витрат на ремонтне обслуговування
	Будівництво	Збільшення нормативного терміну Зменшення витрат на поточні огляди Визначення умов небезпеки експлуатації
	Приладобудування	Збільшення нормативного терміну Зменшення витрат на поточні огляди

Висновки: Для імітаційного моделювання розрізняють безліч напрямків моделювання, адже, зробити тривимірну модель та дефектний розрахунок можна для будь-чого. Дана можливість є головною перевагою на ринку послуг. Головними напрямками застосування є промисловість, медицина, будівництво, приладобудування та ін.

Був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних техніко-економічних характеристик (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) та властивостей ідеї потенційного товару є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

Аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів наведено в таблиці 4.2

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Veb-Invest	CAE-Servis			



1.	Точність вимірювання	Точність результату залежить від дискретизації	Точність результату залежить від дискретизації	Точність результату залежить від дискретизації		✓	
----	----------------------	--	--	--	--	---	--

#### Продовження таблиці 4.2

2.	Швидкість проведення аналізу	Швидкість проведення результатів залежить від геометрії тіла та комп'ютерного обладнання	Швидкість проведення результатів залежить від геометрії тіла та комп'ютерного обладнання	Швидкість проведення результатів залежить від геометрії тіла та комп'ютерного обладнання			✓
3.	Ціна	Встановлено лояльна ціна	Конкурентна ціна на ринку	Конкурентна ціна на ринку		✓	
4.	Розмір початкового капіталовкладення	Середнє на ринку	Вище середнього на ринку	Вище середнього			✓
5.	Система інформації	Реклама	Реклама	Реклама		✓	

Висновки: як видно з таблиці головною перевагою проекту для користувачів являється зменшення часу на проведення аналізу. Не менш важливим, є такі техніко-економічні характеристики, як точність вимірювання, ціна та система інформації, що займають нейтральну позицію. Слабку позицію займає початкове капіталовкладення, так як на початку будь-якого бізнесу вкладення коштів перевищує результат доходу.

## 4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

У таблиці 4.3 проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність тех-	Доступ-
---	--------------	--------------------------	----------------	---------

п/п			нологій	ність тех-нологій
1	Імітаційне моделювання інженерних розрахунків у різних областях науки та техніки	Імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу ANSYS	Існуюча технологія	Доступна технологія
2		Імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу Abaqus	Існуюча технологія	Доступна технологія
3		Імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу Cosmos Works	Існуюча технологія	Доступна технологія
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу ANSYS. ANSYS-це універсальна програмна система кінцево-елементного аналізу.				

Висновки: за допомогою, технологічного аудиту було обрано технологію реалізації проекту, а саме імітаційне моделювання за допомогою програмного комплексу ANSYS. Так як, в наш час, всі технології є доступними для моделювання, доцільним було обрати найточнішу та коректну до результатів розрахунку. Також, не малу роль, грає час проведення одного аналізу моделювання.

### 4.3 Аналіз ринкових можливостей

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	15
2	Загальний обсяг продаж, грн..	100000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	1. Висока ціна 2. Кваліфікованість спеціалістів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Наявність ліцензійного пакету
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	75-80 %

Висновки: головними перевагами показників стану ринку є те, що динаміка ринку стрімко зростає на попит даного продукту, це призведе до підвищення обсягу продаж. Присутні також фактори загрози для виходу на ринок. Такими факторами є високе ціноутворення та рівень знань у спеціалістів, що виконують імітаційне моделювання. Середня норма рентабельності на ринку є досить високою – 75-80%, це означає, що проект рентабельний для входження на ринок.

Для отримання більш чіткої картини ситуації на ринку визначимо потенційні групи клієнтів (табл.4.5), їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Пошкодження та руйнування об'єкту під час нормативного строку експлуатації	Будівельні компанії	Надається перевага ергономіці та точності.	Висока точність Зручність в експлуатації. Швидкі терміни отримання результату
2	Визначення строку експлуатації продукції	Приватні та державні виробництва	Надається перевага ергономіці, точності розрахунку та швидкості.	Висока точність Зручність в експлуатації

Висновки: за результатами аналізу можна виділити дві головні потреби, що формує ринок. Перша це: пошкодження та руйнування об'єкту під час нормативного строку експлуатації, друга: визначення строку експлуатації продукції. В даному випадку, головною перевагою є те, що за допомогою продукту ( імітаційного моделювання програмним комплексом ANSYS) можливо вирішення даних потреб.

Проведемо аналіз факторів ринкового середовища що сприяють ринковому впровадженню (табл. 4.6.) проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.7.). Результати введемо до таблиці

Таблиця 4.6. Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Продовження строку експлуатації об'єкта	Зменшення витрат на ресурс	Розширення клієнтської бази. Вивчення нових комплексів.
2	Дослідження фізичних, технічних, хімічних та ін. процесів	Іншим чином дослідити не можливо	Встановлення рекламної компанії. Розвиток молодих спеціалістів.
3	Дослідження деформації тіла	Іншим чином дослідити не можливо	Встановлення рекламної компанії. Опрацювання нових методик.

Продовження таблиці 4.6

4	Дослідження процесів руйнування об'єкта	Іншим чином дослідити не можливо	Встановлення рекламної компанії. Закупівля нового обладнання
5	Визначення нормативних характеристик об'єкта	Іншим чином дослідити не можливо.	Встановлення рекламної компанії. Вивчення нових комплексів

Висновки: головними факторами для поліпшення становища даного сегменту ринку є те, що на даний момент людство не винайшло кращого способу вирішення для дослідження фізичних, технічних та хімічних процесів. Головною перевагою, та в першу чергу користю для об'єкта дослідження є те, що за допомогою моделювання зменшується витрати на технічну підтримку об'єкта.

Таблиця 4.7. Фактори загроз

№ n/n	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Ріст конкурентів	Ріст конкурентноспроможних фірм	Покращення характеристик продуктів, випуск нових конкурентноспроможних продуктів.
2	Висока вартість робіт	Зменшення кількості замовлень; Перехід до конкурентів	Встановлення конкурентоспроможної вартості за виконання розрахунку.
3	Не компетентність робітників	Не точність та неадекватність інженерних розрахунків	Курси підвищення кваліфікації для молодих спеціалістів Розширення відділу.
4	Час виконання моделювання	Зменшення кількості замовлень. Збільшення витрат на електроенергію	Закупівля нового процесорного обладнання.
5	Зменшення якості розрахунку	Не точність та неадекватність інженерних розра-	Встановлення нового пакету ліцензій. Підвищення кваліфікації спе-

		хунків	ціалістів.
--	--	--------	------------

Висновки: головними негативними факторами є великий ріст конкурентів на рику, висока вартість за виконання робіт та некомпетентність фахівців. Ці фактори не є критичними, адже існують стратегії розвитку компанії та поліпшення поганих умов розвитку. Також треба виділити такий фактор, як швидкість процесу моделювання. За особистими підрахунками було виділено, що процес моделювання може займати час від 30 секунд до 3х-4х діб, що негативно впливає на техніко-економічні характеристики компанії.

Надалі проведемо аналіз пропозиції (табл. 4.8.), де визначимо загальні риси конкуренції на ринку.

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Тип конкуренції Чиста	На ринку існує не багато фірм які пропонують послуги даного типу..	Потрібно працювати над репутацією компанії, забезпечуючи високу якість та точність результатів.
2. За рівнем конкурентної боротьби національний	Замовниками таких товарів є фірми з різних країн. Доставка товару не відіграє велику роль в цьому сегменті	Потрібно як можна більше розширювати горизонти співпраці
3. За галузевою ознакою міжгалузева	Даний вид послуг застосовується в різних галузях виробництва	Розширювати спектр надання послуг
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Конкуренція присутня між товарами одного виду.	Підвищення якості та зменшення похибки пристрою.
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Ціни на такі послуги дуже високі, за допомогою нового алгоритму та нових компонентів зменшується ціна на пристрій	Підприємство може працювати над покращенням методу обробки тим самим дозволяючи не збільшувати ціну на продукт
6. За інтенсивністю - марочна	Велику роль відіграє репутація компанії, що надає розрахунки	Збільшення кількості реклами.

Висновки: на ринку існує не багато фірм які випускають продукцію даного типу, оскільки ринок є специфічним. При цьому ціни на розрахунки дуже високі. З кожним днем розробляються нові алгоритми підвищення точності програмного комплексу, що в свою чергу приводить до якісних результатів моделювання. Точність результату є запорукою підвищення строку експлуатації об'єкта.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю п'яти сил М. Портера (табл. 4.9.).

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

<i>Складові аналізу</i>	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
	<i>Навести перелік прямих конкурентів</i>	<i>Визначити бар'єри входу в ринок</i>	<i>Визначити фактори сили постачальників</i>	<i>Визначити фактори сили споживачів</i>	<i>Фактори загроз з боку замінників</i>
<i>Висновки:</i> ринок не є насиченим, але конкуренція висока, оскільки компанії які являються конкурентами мають високу репутацію. Завадою являється необхідний високий рівень капіталовкладень	CAE-SERVIS Veb-Invest	Висока репутація конкурентних фірм Необхідний розмір капіталовкладень	Зазвичай постачальники не диктують умови співпраці	Споживачі можуть бути чутливими до зміни ціни, Реакція на рекламу конкурента	Імітаційне моделювання геометрії тіла за допомогою більш точних програм

На основі аналізу конкуренції, проведеного наведеного в табл. 4.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту, що наведені в табл. 4.2, вимог споживачів до товару (табл. 4.5.) та факторів маркетингового середовища (табл. 4.6, 4.7) визначимо

та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлено в табл. 4.10.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Точність розрахунку програмного комплексу	Підвищення точності вимірювання, підвищує довіру до товару. Чим вище точність розрахунку, тим вище попит на моделювання.
2	Кваліфікація спеціалістів	Від кваліфікації фахівця залежить точність та адекватність розрахунку.
3	Швидкість визначення результатів	Якісний та швидкий результат – це запорука задоволеного клієнта.
4	Гнучкість	Швидка «адаптація» фахівців при зміні версії програмного комплексу та перепрограмуванні.

Продовження таблиці 4.10

5	Лояльне ціноутворення	Встановлена ціна за послуги повинна бути адекватною, але не нижче конкурентних.
6	Готова методика моделювання	При готовій методиці моделювання зменшується час очікування для покупця
7	Обслуговування	Споживачі потребуються консультування як в технічних питаннях
8	Репутація	У зв'язку зі специфічністю даного сегменту ринку даний фактор є важливим для остаточного рішення клієнта

Висновки: для даного сегменту виділяють вісім основних факторів конкурентоспроможності. При задовільному результаті роботи фахівців та якості обслуговування, є можливим для виходу на конкурентний рівень. При підтримці всіх основних факторів можливостей компанія має шанс стати лідером на ринку.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з CAE-SERVIS та Veb-Invest						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Точність розрахунку програмного комплексу	20				✓			
2	Кваліфікація спеціалістів	15							✓

3	Швидкість визначення результатів	10			✓				
4	Гнучкість	17					✓		
5	Лояльне ціноутворення	12					✓		
6	Готова методика моделювання	10					✓		
7	Обслуговування	12		✓					
8	Репутація	6							✓

Висновки: за даними таблиці був проведений порівняльний аналіз стартап-проекту з вже існуючими конкурентами. Було встановлено, що головними перевагами серед конкурентів є обслуговування та точність розрахунків. Якщо вистроїти план конкурентоспроможності та уважно його виконувати, проект має всі шанси стати лідером серед конкурентів, адже майже всі показники, на етапі розробки, стають на рівні з конкурентами.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities), що наведено в таблиці 4.12. на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.11).

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: можливість моделювання будь-якого об'єкту. Висока точність розрахунку, якісне обслуговування	Слабкі сторони: низька репутація підприємства на початку впровадження проекту в життя, необхідність значного початкового капіталовкладення, висока вартість за послуги
Можливості: швидкий розвиток за рахунок, впровадження експлуатації об'єкта, дослідження складних об'єктів.	Загрози: Винайдення кращих програмних комплексів, кваліфікованість спеціалістів, мінливість ринку та низька швидкість розрахунку складних процесів.

Висновки: на основі SWOT-аналізу була встановлена альтернатива ринкової поведінки, виділені слабкі та сильні сторони проекту, а також сформульовані фактори можливостей росту компанії та її фактори загрози. Головними чинниками загрози є можливість появи кращих програмних ресурсів для моделювання. Головними перевагами є те, що на даний момент альтернативи для розрахунку, окрім інших програмних комплексів, не винайдено. За допомогою програмного комплексу можливо



зробити імітаційне моделювання будь-якого об'єкту, як існуючого, так і об'єкту на етапі розробки. Дослідити взаємодію об'єкта з факторами руйнування, визначити строк експлуатації, розрахувати найсильніші напруги та ін.

На основі SWOT-аналізу розробимо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Встановлення конкурентоспроможних цін	Якщо ціни на послуги не будуть значно перевищувати цін конкурентів, буде встановлений більший потік клієнтів.	2-3 місяці
2	Удосконалення методів розрахунку	При підвищенні якості розрахунків, продукт буде більш конкурентоспроможний.	1 місяць
3	Підвищення кваліфікаційного рівня працівників	За вдяки підвищенню кваліфікації працівників компанії розрахунки будуть більш якісними та точними	2 місяць
4	Закупівля нового комп'ютерного обладнання	Закупівля нових, більш потужних процесорів, забезпечить високу швидкість моделювання та розрахунків.	В залежності від встановленого фінансування від 1 тижня до 3 місяців

Висновки: найкращою альтернативою ринкової поведінки буде закупівля нового комп'ютерного обладнання, тому що завдяки закупівлі нових, більш потужних процесорів, підвищиться швидкість моделювання та розрахунків. Швидкість отримання результатів імітаційного моделювання є сприятливою умовою для клієнта та є можливістю збільшити обсяг робіт.

#### 4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розробка ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл. 3.4.1).

Таблиця 4.14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

<i>№ n/n</i>	<i>Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів</i>	<i>Готовність споживачів сприйняти продукт</i>	<i>Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)</i>	<i>Інтенсивність конкуренції в сегменті</i>	<i>Простота входу у сегмент</i>
1	Медицина	Висока	Середній	Не інтенсивна	Низька складність
2	Будівництво	Середня	Високий	Не інтенсивна	Низька складність
3	Виробництво	Висока	Середній	Не інтенсивна	Низька складність

Продовження таблиці 4.14

4	Приладобудування	Середня	Низький	Не інтенсивна	Низька складність
5	Промисловість	Середня	Низький	Не інтенсивна	Низька складність

*Висновки:* Було обрано цільові групи: будівельні компанії та медичне виробництво. На другому місці потенційним клієнтом, орієнтовано може бути, виробнича сфера. Стратегію охоплення ринку було обрано – диференційований маркетинг. Тому що компанія працює з кількома сегментами, розробляючи для них окремо програми ринкового впливу.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформулювати базову стратегію розвитку (табл. 4.15.).

Таблиця 4.15 Визначення базової стратегії розвитку

<i>№ n/n</i>	<i>Обрана альтернатива розвитку проекту</i>	<i>Стратегія охоплення ринку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>
1	Розробка нових об'єктів моделювання	Створення швидкого та якісного аналізу та моделювання	Наявність патенту або ліцензії	Стратегія диференціації

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

<i>№ п/п</i>	<i>Чи є проект «першо- прохідцем» на ринку?</i>	<i>Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?</i>	<i>Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?</i>	<i>Стратегія конкуре- нтної поведінки</i>
1	Ні, в наш час існують безліч компаній, які надають даний вид послуг	компанія буде шу- кати нових спожив- ачів	Ні, кожне моделю- вання є індивідуа- льним та унікаль- ним.	Заняття конкурент- ної ніші

Висновки: головною стратегією розвитку проекту є великий обсяг аудиторії. Проект зорієнтований на підвищення кількості постійних клієнтів, що, в свою чергу, дає змогу створення швидкого та якісного аналізу та моделювання. Кожне імітацій-  
не моделювання є індивідуальним та не полегить шаблонному виробництву.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника та до про-  
дукту, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку та стратегії кон-  
курентної поведінки розробимо стратегію позиціонування (табл. 4.17).

Таблиця 4.17 - Визначення стратегії позиціонування

<i>№ п/п</i>	<i>Вимоги до товару цільо- вої аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспро- можні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформулювати комплексну по- зицію власного проекту (три ключових)</i>
1	Якість	Стратегія спеціаліза- ції	Швидкість, гнучкість, то- чність	Точність, швидкість, гнуч- кість
2	Обслугову- вання	Стратегія диференці- ації	Легке обслуговування, на- дання технічних консуль- тацій.	Адекватність розрахунків, надання інформативної бази
3	Ціна	Стратегія диференці- ації	Доступна цінова політика, Висока якість.	Гнучкість, доступність, якість

Висновки: крім високої точності та якісного обслуговування, компанія потребує досконалості системи, а саме: встановлення конкурентних цін, підвищенні кваліфікаційного рівня працівників та закупівлі потужного обладнання. Данні сегменти приведуть до уникнення переходу клієнтів до конкурентів.

#### 4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач табл. 4.18.

Таблиця 4.18 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Якість	Високі показники якості та адекватності розрахунків	Можливість підвищити рівень споживачів, за рахунок гарної репутації.
2	Швидкість	Швидкість процесу моделювання	За рахунок потужного обладнання, можливість підвищення швидкості моделювання значно зростає, що в свою чергу призведе до потоку клієнтів та можливості проведення великих кількостей розрахунків.
3	Точність	Високі показники точності моделювання	За рахунок високих показників точності моделювання встановлюється довіра між компанією та клієнтом. Створення репутації та постійної клієнтської бази.

Висновки: головними вигідними критеріями проекту є точність, швидкість та якість результатів. Дані критерії дають змогу підвищити рівень споживачів, за рахунок гарної репутації. Це обумовлено адекватністю вимірювань та виконаним у встановлений термін результатами. За рахунок даних критеріїв оцінки моделювання можливість підвищення строку експлуатації об'єкта значно зростає.

Розробимо трирівневу маркетингову модель товару (табл. 4.19).

Таблиця 4.19 Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові	
I. Товар за заду- мом	Точність в проведенні імітаційного моделювання інженерних розрахун- ків у різних областях науки та техніки.	
II. Товар у реаль- ному виконанні	Властивості/характеристики	
	1. Параметри геометрії об'єкта	мм
	2. Швидкість проведення мо- делювання	Від 30 с до 70 год
	3. Вісь	0...360°
	4. Сила тяжіння	Н
	5. Навантаження	Па
	6. Густина речовини	кг/м³
	7. джерело живлення	100В~240V, 50/60Гц
	Якість: виконання моделювання на ліцензійному обладненні, кваліфіко- ваним інженером.	
	Пакування: надсилається в електронному вигляді, або за допомогою флеш-пам'яті.	
	Марка: ANSYS WORKBENCH	
III. Товар із підк- ріпленням	До продажу: встановлення програмного комплексу на ЕОМ	
	Після продажу: Оновлення програми до нової версії та встановлення лі- цензії	
Потенційний товар буде захищено від копіювання за рахунок логотипу, введення комерційної таємниці на розрахунки, патент.		

Висновки: було проведено трьох рівневий опис моделі товару (корисної моделі). Розкриті основні складові моделювання та вказані основні моменти якості та пакування об'єкту корисної моделі.

Наступним кроком визначимо цінові межі (табл. 4.20).

Таблиця 4.20 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар
1	100000	300000	1000000	100000-250000

Висновки: як видно з таблиці збільшити кількість клієнтів дозволить зниження цін на послуги, ніж ціна на сучасні аналоги. Головними перевагами методу розрахунку моделювання є точність та адекватність вимірів. Дані особливості є головними та конкурентними серед продуктів-аналогів.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.21).

Таблиця 4.21 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Попереднє замовлення з підписанням контракту	Моделювання поводитьься чітко у визначені строки	Прямий	Прямий

Висновки: у зв'язку з тим, що обслуговується вузький сегмент ринку тому доцільніше не використовувати посередників а застосовувати прямий канал збуту. Головними критеріями збуту для постачальника є виконання терміну готового моделювання.

## ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4

У ході виконання даного розділу було висвітлено основні маркетингові аспекти створення стартапу, визначення перспектив реалізації проекту та розроблення маркетингової стратегії.

Головною метою створення стартапу є вихід продукту на конкурентний ринок в якості окремої компанії. Процес створення вимагає ретельних прорахунків і врахування ряду зовнішніх та внутрішніх факторів.

За допомогою аналізу, була запропонована ідея проекту, яка полягає в створенні можливості проведення імітаційного моделювання інженерних розрахунків. Дана ідея надає змогу споживачу отримати складні розрахунки, що в перспективі має можливість встановити оптимальний нормативний термін, визначити умови небезпеки експлуатації об'єкта, а також зменшити витрати споживача на виготовлення та ремонт будь-якого об'єкту. При даних критеріях оцінки моделювання можливість підвищення строку експлуатації об'єкта значно зростає.

Головними вигідними критеріями проекту є точність, швидкість та якість результатів. Дані критерії дають змогу підвищити рівень споживачів, за рахунок репутації. Це обумовлено адекватністю та точністю вимірювань, виконаними у встановлений термін.

Була наведена оцінка сильних та слабких сторін проекту, зроблено порівняльний аналіз конкурентів, розрахована собівартість виробу та можливий прибуток. Визначені головні потреби споживачів та заходи їх реалізації.

При розробленні стартап-проекту було оцінені можливості та сформульовані заходи ринкового впровадження. Якщо чітко дотримуватись плану, за даним аналізом, можна зробити висновок, що проект є рентабельним та має всі шанси стати конкурентноспроможним.

## ВИСНОВКИ

В останні роки велика кількість аварійних ситуацій, що відбуваються на відповідальних спорудах та на інженерних конструкціях, підіймають питання контролю технічного стану на перше місце при комплексній діагностиці об'єктів. За допомогою новітніх та потужних програмних пакетів для імітаційного моделювання забезпечується все ціле дослідження об'єктів, які знаходяться в складних умовах експлуатації, та встановлюються норми їх контролю.

У ході виконання магістерської дисертації були отримані наступні науково-технічні результати, а саме:

1. Проведено огляд причин руйнування відповідальних елементів інженерних та будівельних споруд. Виявлено, що найчастіше аварії відбуваються через появу та розвиток крихких тріщин в матеріалах конструкцій через наявність комбінованих навантажень.

2. Проведено огляд робіт інших авторів за темою дисертації показав, що більшість дослідів присвячені аналізу причин та механізмів розвитку тріщин у тонкостінних металевих конструкціях (резервуарах, трубопроводах), розрахунку та аналізу коефіцієнтів інтенсивності напружень при наявності тріщин в об'єктах, дослідженню власних частот тонкостінних конструкцій та впливу зовнішніх навантажень на напружено-деформований стан резервуарів для зберігання екологічно-небезпечних речовин. З іншого боку, дослідження напружено-деформованого стану вертикальних сталевих зварних резервуарів при дії тиску від речовини, що в них зберігається, за наявності у зварних швах багатоосередкового пошкодження є обмеженими.

3. Виконано геометричне моделювання вертикального сталевого зварного резервуара, який було встановлено на антарктичній станції Академік Вернадський. Створено дві спрощені геометричні моделі з різною геометрією зварних швів для дослідження процесу їх руйнування при багатоосередковому пошкодженні.



4. Проведено імітаційне моделювання резервуара, що знаходиться під навантаженням від дії речовини, яка зберігається в ньому, при відсутності дефектів та пошкоджень. Отримано відповідні поля напружень та деформацій для подальшого аналізу.

5. Проведено імітаційне моделювання резервуара, що знаходиться під навантаженням від дії речовини, яка зберігається в ньому, при наявності багатоосередкового пошкодження у вигляді тріщин. Розглянуто три випадки пошкодження зварних швів: одна наскрізна тріщина (вертикальний шов, довжина тріщини 500мм, ширина 0,1мм), дві наскрізні тріщини (вертикальний шов, довжина кожної тріщини 15мм, ширина кожної тріщини 0,1мм), три наскрізні тріщини (горизонтальний шов, довжина кожної тріщини 15мм, ширина кожної тріщини 0,1мм). Показано, що у розглянутих випадках руйнування зварного шва під дією навантаження від рідини, яка зберігається в резервуарі, не відбувається. Отримано відповідні поля напружень та деформацій для подальшого аналізу.

6. Проведено аналіз отриманих полів напружень та деформацій. Розроблено рекомендації щодо місць встановлення датчиків на резервуарі. Показано, що неправильний вибір місць встановлення призведе до зменшення інформативності отриманих з датчиків даних.

7. Розроблено стартап-проект за темою дисертації на проведення робіт по імітаційному моделюванню інженерних та будівельних конструкцій.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Термины и определения используемые в обследовании [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.tehobsledovanie.ru/slovar-terminov>
2. Обследование технического состояния зданий и сооружений [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.nsd52.ru/obsledovanie-tehnicheskogo-sostoyaniya-zdaniy-i-sooruzheniy> – Назва з екрана.
3. К.І. Брикін Оцінка живучості пластини з поперечної полу еліптичною тріщиною при чистому згибі // Політехнічний молодіжний журнал №8 /МГТУ ім. Н.Е.Баумана, Москва РФ - 2017 – Вип.8 -С. 1 - 9
4. С.И. Рощина Техническая эксплуатация и ремонт зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие / С. И. Рощина [и др.]; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 200 с
5. Повреждения и дефекты зданий и сооружений. Определение понятий «повреждение» и «дефекты».[Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://beton-karkas.ru/obsledovanie-konstrukcij-zdaniy-i-sooruzhenij/osnovnye-ponjatija-i-terminy-pri-obsledovanii/>
6. Повреждение и дефекты зданий и сооружений.[Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.brig.by/Повреждения+и+дефекты+зданий+и+сооружений>
7. Ремнев В.В.Обследование технического состояния строительных конструкций зданий и сооружений [Текст]: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта./ Морозов А.С., Тонких Г.П. — М.: Маршрут, 2005. — 196 с.
8. Дефекты зданий и конструкций и их последствия. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/677013669>
9. Крисько А.А., Е.В.Конопацький Геометричне моделювання стінки сталевго вертикального циліндричного резервуара з недосконалостями // Будівля та кострукції із застосуванням нових матеріалів та технологій / Дон-

баська національна академія будівництва і архітектури - випуск 2013-3 (101) – С. 126-129

10. Туманов А.В. Упругие и пластические примеры состояния наклонных полуэллиптических трещин при двухосном нагружении — Казань 2012 г. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://fizmathim.com/uprugie-i-plasticheskie-parametry-sostoyaniya-naklonnyh-poluellipticheskikh-treshchin-pri-dvuhosnom-nagruzhenii>
11. Трещина – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Трещина>.
12. Трещины в стенах: причины, опасность, устранение. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kvartirobus.ru/remont-kvartiri/remont-sten/38-treshchiny-v-stenakh-prichiny-opasnost-ustranenie>
13. Обследование трещин – Электронный ресурс – Режим доступа: <http://www.project.bulgaria-burgas.ru/crack-2.htm>
14. Расчет параметров механики разрушения в ANSYS Mechanical 15.0 . – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://sapr.ru/article/24556>
15. Основы механіки разрушения – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://lab4.icmm.ru/wp-content/uploads/2012/05/nikolaeva1.pdf>
16. Строение твердых кристаллических тел – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://studopedia.ru/2\\_55129\\_stroenie-tverdih-kristallicheskih-tel.html](https://studopedia.ru/2_55129_stroenie-tverdih-kristallicheskih-tel.html)
17. Строение твердых кристаллических тел – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://studopedia.ru/2\\_55129\\_stroenie-tverdih-kristallicheskih-tel.html](https://studopedia.ru/2_55129_stroenie-tverdih-kristallicheskih-tel.html)
18. Коэффициент интенсивности напряжений тел – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kokch.kts.ru/me/m3r/c3.htm>
19. Коэффициент интенсивности напряжений – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.kokch.kts.ru/me/m3r/c3.htm>

20. Методы определения КИН – [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://mashxxl.info/page/146247190110153212206128091067212060160014099131/>
21. Организация ремонта оборудования химических, нефтехимических, нефтеперерабатывающих производств [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://lektsii.org/3-102538.html>
22. Метод конечных элементов [Электронный ресурс].- Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод\\_конечных\\_элементов](https://ru.wikipedia.org/wiki/Метод_конечных_элементов)
23. Основные определения метода конечных элементов [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.stroitmeh.ru/lect31.htm>
24. Оптимизация построения сеток с помощью разбиения [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.comsol.ru/blogs/improving-your-meshing-with-partitioning/>
25. Большаков В. П. Создание трехмерных моделей и конструкторской документации в системе КОМПАС-3D. [Текст]: Практикум. –СПб.: БХВ-Петербург, 2010. – 496 с.
26. Мониторинг технического состояния объекта [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/5336401/>
27. С. А. Цыбульник Эффективное средство защиты резервуаров от ветровой нагрузки. Часть 1. Построение геометрической модели обтекателя / С. А. Цыбульник // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Сер. : Приладобудування. - 2013. - Вип. 46. - С. 80-85.
28. Метод конечных элементов [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://portal.tpu.ru:7777/SHARED/b/BGA/bio/bachelors/Tab/MKE.pdf>
29. Построение сетки для вашей геометрии: случаи использования элементов различных типов [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://www.comsol.ru/blogs/meshing-your-geometry-various-element-types/>

30. Моніторинг напруженість- деформованого стану магістра них трубопроводів [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://digaz.ru/download/doklad/nds.pdf>
31. Разница между мониторингом и диагностикой [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://thedifference.ru/chem-otlichaetsya-monitoring-ot-diagnostiki/>
32. Диагностика и мониторинг технического состояния [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://zetlab.com/diagnostika-i-monitoring-tehnicheskogo-sostoyaniya-zdaniy-i-sooruzheniy-zalog-bezopasnosti-i-uverenosti-v-budushhem/>
33. Техническая диагностика и методы технического диагностирования [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://electricalschool.info/main/ekspluat/1735-tekhnicheskaja-diagnostika-i-metody.html>
34. Модели коррозионного разрушения трубопроводов [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://studfiles.net/preview/2751876/page:2/>
35. Техническое диагностирование резервуаров [Електронний ресурс].- Режим доступу: [https://gazovik-pgo.ru/cat/articles2/expluatacia\\_rezervuarov\\_neftebaz/diagnostirovani](https://gazovik-pgo.ru/cat/articles2/expluatacia_rezervuarov_neftebaz/diagnostirovani)
36. Экологические проблемы нефтяной промышленности: условия безопасности – [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://pue8.ru/ekologiya/255-ekologicheskie-problemy-neftyanoj-promyshlennosti.html>
37. Н.А. Махутова Исследование механизма и кинетики разрушения поверхностных разноориентированных полуэллиптических трещин при сложном напряженно-деформированном состоянии с помощью деформационных критериев нелинейной механики разрушения / Н.А. Махутов, И.В. Макаренко, Л.В. Макаренко // Проблемы прочности. — 2013. — № 4. — С. 91-97. — Бібліогр.: 9 назв. — рос.

38. Хайбуллина Л.В. Методы и средства контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций и опасных напряженных объектов нефтегазовой отрасли [Текст]: Весник молодого ученого № 4 2015
39. О. М. Карпаш Методи та засоби контролю напружено де формованого стану металлоконструкцій небезпечних виробничих об'єктів нафтової галузі / О. М. Карпаш, Я. М. Зінчак, П. Я. Криничний – Івано Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано Франківськ - Наука та інновації.2005.Т 1.№ 5.С. 132–149.
40. І.П. Лелек Исследование скорости роста усталостных трещин в алюминиевом сплаве акб в зависимости от характеристик напряженно деформированного состояния в области их распространения/ І.П. Лелек, К.А. Вансович, А.Н. Крючков. - Вісник Самарського державного аерокосмічного університету №2 (40) 2013 р
41. А.А. Крисько, Е.В.Конопацкий Геометричне моделювання стінки сталевго вертикального циліндричного резервуара з недосконалостями / А.А. Крисько, Е.В.Конопацкий - Донбаська національна академія будівництва і архітектури ( Будівля та кострукції із застосуванням нових матеріалів та технологій) Випуск 2013-3 (101).
42. Сальманов І.Д., Барановський М.Ю., Тарасов В.А., Кінцеві напруження та деформації при зварці. [Текст]: Будівництво унікальних будинків та споруд, 2014, №12 (27).
43. Ю.Д. Байчиков, Е.А. Суренський Верифікація програмного комплексу ANSYS.Задачі механіки руйнування. - [Електронний ресурс] – Режим доступу:  
<http://www.gidropress.podolsk.ru/files/proceedings/kms2009/disc/documents/kms2009-08.pdf>
44. Н.А. Махутова, І.В. Макаренко та Л.В. Макаренко Дослідження механізму та кінетики руйнування поверхневих різно орієнтованих напівеліптичних

- тріщин при складному напружено-деформованому стані за допомогою деформаційних критеріїв нелінійної механіки руйнування [Текст]: Інститут машинознавства ім.А.А. Благонравова РАН, Москва, Росія – ISSN 0556-171X. Проблеми міцності, 2013, №4.
45. Котов М. Ю., Быков Л. И. К вопросу моделирования и экспериментального исследования напряженно-деформированного состояния балочного трубопроводного перехода [Текст]: ФГБОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», г. Уфа, Российская Федерация — Нефтегазовое дело: электронный научный журнал. 2013. №4
  46. В.О. Гришина, В.О Гришина, В.В. Реут - Дослідження коефіцієнтів інтенсивності напруги в пластинчастій конструкції з поздовжніми тріщинами. [Текст]: - Праці Одеського політехнічного університету, 2012. Вип. 1(38).12.
  47. Алексеев Анисий Анисиевич Ветвление трещины при разрушении крупногабаритных металлических конструкций [Текст] - Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт физико-технических проблем Севера СО РАН - [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://scienceproblems.ru/vetvlenie-treshchiny-pri-razrushenii-krupnogabaritnyh-metallicheskih-konstruktsij.html>.
  48. Полкунов Ю.Г. та Спиридонова Е.В. Моделирование развития розклиняющей трещины в поврежденном материале [Текст] – Оренбургский государственный университет – Вестник ОДУ № 9/ вересень 2007
  49. М. В. Муратов, И. Б. Петров, В. Б. Левянт Разработка математических моделей трещин для численного решения задач сейсморазведки с применением сеточно-характеристического метода / М. В. Муратов, И. Б. Петров, В. Б. Левянт // Компьютерные исследования и моделирование, 2016, том 8, выпуск 6, страницы 911–925
  50. О.П. Коробейников. Обследование технического состояния зданий и сооружений (основные правила): учебное пособие / О.П. Коробейников, А.И.

- Панин, П.Л. Зеленов; Нижегород. гос. архитектур.-строит. ун-т. Н.Новгород: ННГАСУ, 2011. – 55с. [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.ndt-pribor.kz/files/kontrolstroit/obsledovpomeshenia.pdf>.
51. Кангарлу Камбиз Расчет на сейсмические воздействия наземных стальных вертикальных цилиндрических резервуаров для хранения нефти в условиях Ирана / Кангарлу Камбиз - [Электронный ресурс].- Режим доступа: <http://www.dissercat.com/content/raschet-na-seismicheskie-vozddeistviya-nazemnykh-stalnykh-vertikalnykh-tsilindricheskikh-reze>
  52. Параметрический резонанс в баке [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.cae-services.ru/catalog/by-industry/civil-engineering?page=2&pgsize=10>
  53. Вдосконалення засобів функціональної діагностики та захисту резервуарів на основі імітаційного моделювання / Цибульник С.О. -[Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://rada.kpi.ua/files/dissertation/dis\\_Tsybulnyk\\_S.O.pdf](http://rada.kpi.ua/files/dissertation/dis_Tsybulnyk_S.O.pdf)
  54. Пустовойт А.И.Геометрическое моделирование украинской антарктической станции “Академик Вернадский ”/ Пустовойт А.И., Цибульник - Новые направления развития приборостроения: Материалы 10-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов / Белорусский нац. техн. ун-т. – Том 1. – Минск: БНТУ, 2016. – С.96.
  55. Резервуар\_вертикальный\_стальной [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Резервуар\\_вертикальный\\_стальной#cite\\_ref-.D0.A1.D0.9D-.D0.A0.D0.9A-3.05-24-2004-12\\_15-0](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Резервуар_вертикальный_стальной#cite_ref-.D0.A1.D0.9D-.D0.A0.D0.9A-3.05-24-2004-12_15-0)
  56. Лутошкин Г. С. Нефтепромысловые резервуары -. — М.: ООО ТИД Альянс, 2005. — 319 с.
  57. Резервуары цилиндрические [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://rezervuar.su/product/rezervuary-cilindricheskie/>



58. Резервуарі цилиндрические [ Электронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zavodeosamara.ru/produkcija/emkostnoeoborudovanie/rezervuarycilindricheskie>
59. Изотермические резервуары СУГ [ Электронний ресурс]. – Режим доступу: [https://gazovik-lpg.ru/cat/sug/izotermicheskie\\_rezervuary/](https://gazovik-lpg.ru/cat/sug/izotermicheskie_rezervuary/)
60. Изотермические резервуары [ Электронний ресурс]. – Режим доступу: <http://tdbrz.ru/izotermicheskie-vertikalnye-rezervuary>
61. Классификация резервуаров [Электронний ресурс]. – Режим доступу: <http://r-stroitel.ru/klassifikaciya-rezervuarov/>
62. Баки, емкости из металла, аккумуляторы горячей воды[ Электронний ресурс]. – Режим доступу: <http://svarka-nerzhavjki.kiev.ua/baki-emkosti-iz-metalla-akkumulyatory-goryachej-vody/>
63. Инструкция по проектированию, изготовлению и монтажу вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов СН РК 3.05-24-2004, п. 6 // Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства / Строительные нормы Республики Казахстан [ Электронний ресурс]. – Режим доступу: [https://online.zakon.kz/document/?doc\\_id=30056879#pos=1;-161](https://online.zakon.kz/document/?doc_id=30056879#pos=1;-161)
64. Монтаж будівельних конструкцій - Частина 1 [ Электронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.cardiopps.ru/majster-zagalnobudivelnikh-robit/3373-montazh-budivelnix-konstrukcij-chastina-1.html>
65. ГОСТ 31385-2008, п. 4 Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия [Текст] – Введен 2010-07-01 – М.: Межгосударственный стандарт - №34 2008
66. Инструкция по проектированию, изготовлению и монтажу вертикальных цилиндрических стальных резервуаров для нефти и нефтепродуктов СН РК 3.05-24-2004, п. 3 // Термины и определения условия [Текст] – Введен 05-24-2004– М.: Государственные нормативы в области архитектуры, градостроительства и строительства

67. ГОСТ 31385-2008, п. 1. Резервуары вертикальные цилиндрические стальные для нефти и нефтепродуктов. Общие технические условия [Текст] – Введен 2010-07-01 – М.: Межгосударственный стандарт - №34 2008
68. Сварные швы и соединения [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osvarke.com/soedineniya.html>
69. CATIAV5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.mebius.spb.ru/catia\\_v5.html](http://www.mebius.spb.ru/catia_v5.html)
70. Введение в систему автоматизированного проектирования CATIA V5 Часть 1 – Проектирование деталей// Сергеев Е.М., Епифанов А.Н., Горшков А.П., Сдобняков В.В. Практикум.– Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2014. – 81 с.
71. Creating Pads [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://catiadoc.free.fr/online/prtug\\_C2/prtugbt0501.htm](http://catiadoc.free.fr/online/prtug_C2/prtugbt0501.htm)
72. Pocket [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.staff.city.ac.uk/~ra600/ME2105/Catia%20course/CATIA%20Tutorials/prtug\\_C2/prtugbt0502.htm](http://www.staff.city.ac.uk/~ra600/ME2105/Catia%20course/CATIA%20Tutorials/prtug_C2/prtugbt0502.htm)
73. Inserting Existing Components [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://catiadoc.free.fr/online/pstug\\_C2/pstugbt0304.htm](http://catiadoc.free.fr/online/pstug_C2/pstugbt0304.htm)
74. Платформа Workbench [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://dmkpress.com/files/PDF/978-5-97060-425-0.pdf>
75. Датчик [ Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA>

## ДОДАТОК А

Форма додатку 11

## СПИСОК

наукових та навчально-методичних праць

Тимченко Аліни Ігорівни

за 2016-2018 роки

№ п/п	Назва	Характер роботи	Вихідні дані	Обсяг, стор.	Співавтори
1	2	3	4	5	6
<b>I. Наукові роботи, опубліковані до захисту дисертації</b>					
1	Порівняння програмних комплексів інженерного розрахунку	Тези доповіді	Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів, (Тернопіль, 17–18 листоп. 2016) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль : ТНТУ, 2016. – С. 305	1	С.О. Цибульник, Д.О. Півторак
2	Огляд програмних комплексів інженерного розрахунку	Стаття	Вісник інженерної академії України. – Київ, 2016. – № 4. – С. 162-165. (фахове видання)	1	С.О. Цибульник, І.Є. Коменчук
3	Геометрическое моделирование украинской антарктической станции «Академик Вернадский»	Тези доповіді	Новые направления развития приборостроения: Материалы 10-й Международной научно-технической конференции молодых ученых и студентов / Белорусский нац. техн. ун-т. – Том	1	С.А. Цыбульник

			1. – Минск: БНТУ, 2016. – С.96.		
1	2	3	4	5	6
4	Modeling of destructive processes in fuel tank	Тези доповіді	VIII міжнародна Антарктична конференція «VIII міжнародна Антарктична конференція, присвячена 25-річчю приєднання України до Договору про Антарктику»	1	S. Tsybulnik.
5	«Simulation of airflow at the Vernadsky station for multi-site damage identification»	Стаття	прийнята до друку у черговому, 16-му номері наукового фахового видання «Український антарктичний журнал» за 2017 рік	1	S. Tsybulnik
6	ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ БАГАТООСЕРЕДКОВОГО ПОШКОДЖЕННЯ РЕЗЕРВУАРА З ПАЛИВОМ	Тези доповіді	XI Науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Погляд у майбутнє приладобудування»	1	С.О. Цибульник

Студент

(підпис)

(прізвище, ініціали)

Список ЗАВІРЯЮ:

Завідуючий кафедрою